

**DISEÑO DE UN SISTEMA ROBOTIZADO QUE PERMITA PALETIZAR EL  
EMBALAJE DE JUGOS EN PRESENTACIÓN DE CAJAS TETRA PACK DE  
200ML, EN LA EMPRESA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS ALPINA  
CAUCA**

**JAIRO ELIECER PINZÓN VARELA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
SANTIAGO DE CALI  
2016**

**DISEÑO DE UN SISTEMA ROBOTIZADO QUE PERMITA PALETIZAR EL  
EMBALAJE DE JUGOS EN PRESENTACIÓN DE CAJAS TETRA PACK DE  
200ML, EN LA EMPRESA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS ALPINA  
CAUCA**

**JAIRO ELIECER PINZÓN VARELA**

**Pasantía Institucional para optar por el título de  
Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones**

**Director  
José Fernando Gil  
Ingeniero Macarrónico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
SANTIAGO DE CALI  
2016**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Electrónico & Telecomunicaciones.

**JUAN CARLOS MENA**

---

JURADO

Santiago de Cali, 19 de Julio de 2016

## **CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>13</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>16</b>
<b>1. MARCO TEORICO</b>	<b>17</b>
<b>1.1 SISTEMA ROBÓTICO</b>	<b>17</b>
<b>1.2 CINEMATICA DEL MANIPULADOR</b>	<b>18</b>
<b>1.2.1 Cinemática Directa.</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2 Parámetros de Denavit-Hartenberg</b>	<b>20</b>
<b>1.2.3 Cinemática Inversa</b>	<b>20</b>
<b>1.3 DINAMICA DEL MANIPULADOR</b>	<b>21</b>
<b>1.4 EFECTOR FINAL DEL MANIPULADOR</b>	<b>23</b>
<b>1.4.1 Configuraciones de Efectores Finales</b>	<b>23</b>
<b>1.4.2 Fuentes Generadoras de Vacío</b>	<b>25</b>
<b>1.4.3 Principio de Funcionamiento Generador de Vacío Ventur</b>	<b>26</b>
<b>1.4.4 Selección de la Ventosa de Succión</b>	<b>27</b>
<b>1.4.5 Características De La Pieza De Trabajo</b>	<b>27</b>
<b>1.4.6 Condiciones del Sistema</b>	<b>27</b>

<b>1.4.7 Determinación de Nivel de Vacío, selección de la Ventosa</b>	<b>29</b>
<b>1.4.8 Sistema Centralizado</b>	<b>30</b>
<b>1.4.9 Sistema Descentralizado</b>	<b>31</b>
<b>1.5 MORFOLOGÍA DE UN ROBOT</b>	<b>31</b>
<b>1.5.1 Cadena Cinemática.</b>	<b>32</b>
<b>1.6 PALETIZAR</b>	<b>33</b>
<b>1.6.1 Ventajas Del Proceso De Paletizado.</b>	<b>34</b>
<b>1.7 TIPOS DE CONTROLES PARA UN MANIPULADOR</b>	<b>35</b>
<b>1.7.1 Controlador Lógico Programable (PLC).</b>	<b>36</b>
<b>1.7.2 Estructura del PLC.</b>	<b>36</b>
<b>1.7.3 Precisión en el movimiento del Manipulador.</b>	<b>39</b>
<b>1.8 SENSORES PARA MANIPULADORES ROBOTICOS</b>	<b>39</b>
<b>1.9 SERVOMOTOR</b>	<b>41</b>
<b>1.9.1 Control de Posición del Servomotor.</b>	<b>42</b>
<b>1.9.2 Aplicaciones del Control de Movimiento en la Industria.</b>	<b>44</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>45</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>45</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>45</b>
<b>3 DESCRIPCION DEL TRABAJO</b>	<b>46</b>
<b>3.1 PROBLEMA</b>	<b>46</b>

<b>3.2</b>	<b>ESPACIO DE TRABAJO</b>	<b>47</b>
<b>3.3</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>48</b>
<b>3.4</b>	<b>ENVASADORA Y ENCARTONADORA</b>	<b>48</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Velocidad de Línea Salida Encartonadora.</b>	<b>51</b>
<b>3.5</b>	<b>PROCESO DE TRABAJO</b>	<b>52</b>
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO CINEMATICO</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>ANALISIS DE LA CINEMATICA DIRECTA</b>	<b>53</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Definición De La Longitud De Los Eslabones.</b>	<b>54</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Espacio de Trabajo Requerido.</b>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>ANALISIS DE LA CINEMATICA INVERSA</b>	<b>56</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Embalaje.</b>	<b>57</b>
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO DINÁMICO</b>	<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>ANALISIS DE REFENCIA DE VELOCIDAD vs TRAYECTORIA</b>	<b>58</b>
<b>6.</b>	<b>SELECCIÓN DEL MANIPULADOR</b>	<b>59</b>
<b>6.1</b>	<b>ROBOTS PALETIZADORES</b>	<b>59</b>
<b>6.2</b>	<b>ANALISIS DE RESULTADOS</b>	<b>64</b>
<b>7.</b>	<b>DISEÑO EFECTOR FINAL</b>	<b>65</b>
<b>7.1</b>	<b>SELECCIÓN DE LA CONFIGURACION</b>	<b>65</b>
<b>7.2</b>	<b>CÁLCULOS</b>	<b>67</b>

<b>7.2.1 Selección de la Ventosa.</b>	<b>67</b>
<b>7.2.2 Fuerza de Levantamiento.</b>	<b>67</b>
<b>7.2.3 Cálculo del diámetro de la Ventosa.</b>	<b>68</b>
<b>7.2.4 Cálculo Presión de Vacío.</b>	<b>69</b>
<b>7.2.5 Consideraciones del Sistema de Vacío.</b>	<b>69</b>
<b>7.2.6 Selección Venturi.</b>	<b>69</b>
<b>7.3 SELECCIÓN DE LA CONFIGURACION DEL SISTEMA</b>	<b>70</b>
<b>8. SELECCIÓN SISTEMA DE CONTROL</b>	<b>71</b>
<b>8.1 CONTROL DEL GRIPPER</b>	<b>71</b>
<b>8.2 SELECCIÓN DE SENSORES</b>	<b>72</b>
<b>9. CONCLUSIONES</b>	<b>73</b>
<b>10. RECOMENDACIONES</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>77</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Manipulador Industrial	17
Figura 2. Posicionamiento del Sistema Geométrico	19
Figura 3. Gripper de Vacío	23
Figura 4. Gripper Mecánico Tipo Pinza	24
Figura 5. Bomba Generadora de Vacío	25
Figura 6. Venturi para Vacío	26
Figura 7. Principio de Vacío en Venturi.	26
Figura 8. Levantamiento Vertical y Pieza Horizontal.	28
Figura 9. Estabilidad del Sistema de Vacío	29
Figura 10. Sistema de Vacío Centralizado.	30
Figura 11. Sistema de Vacío descentralizado	31
Figura 12. Articulaciones de un Robot	32
Figura 13. Morfologías de un Robot Paletizador	33
Figura 14. Pallet o Estiba	34
Figura 15. Transporte Estibado / Sin Estibar	34
Figura 16. Estructura de un PLC	37
Figura 17. Sensor Tactil	40
Figura 18. Sensor de Proximidad	40
Figura 19. Sensores de Visión Artificial	41
Figura 20. Servomotor	42
Figura 21. Estructura de un Servo Drive	43



Figura 22. Componentes De un Control de Posición	43
Figura 23. Aplicación Control de Posición	44
Figura 24. Distribución del Paletizado en Alpina	47
Figura 25. Fruper Producto de Embalaje	48
Figura 26. Envasadora Tetra Pak A3 Speed	49
Figura 27. Encartonadora Tetra Pak A3 Speed	49
Figura 28. Producto Final Encartonado	50
Figura 29. Plataforma iLine	51
Figura 30. Proceso de Paletizado	52
Figura 31. Morfología de Diseño	53
Figura 32. Dimensiones de la Estiba con Producto	54
Figura 33. Propuesta de Diseño	55
Figura 34. Espacio de Trabajo	56
Figura 35. Referencias Polares de la Trayectoria.	56
Figura 36. Proceso de Embalaje	57
Figura 37. Robot Paletizador ABB – IRB 460	59
Figura 38. Área de Trabajo Robot Paletizador IRB 460 ABB	60
Figura 39. Robot Paletizador MPL80II	61
Figura 40. Área de Trabajo Robot Paletizador MPL80II Yaskawa	62
Figura 41. Robot Paletizador Kawasaki RD080N	62
Figura 42. Área de Trabajo Robot Paletizador RD080N Kawasaki	63
Figura 43. Pruebas con Gripper Mecánico.	66
Figura 44. Gripper Para Vacío.	66
Figura 45. Ventosa Para el Diseño	67

Figura 46. Venturi para el Diseño.	69
Figura 47. Elementos del sistema	70
Figura 48. Electroválvulas para Efecto Final	71

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla de Parámetro Denavit - Hartenberg.	20
Tabla 2. Características Técnicas Robot ABB vs Requeridas	60
Tabla 3. Características Técnicas Robot Yaskawa vs Requeridas	61
Tabla 4. Características Técnicas Robot Kawasaki vs Requeridas	63
Tabla 5. Condiciones Iniciales del Sistema	68

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Plano Planta Alpina Cauca	80
Anexo B: Hoja de Datos Generador de Vacío Venturi - Festo	81
Anexo C: Hoja de Datos Gripper tipo Ventosa - Festo	84
Anexo D: Hoja de Datos Robot Palletizer ABB - IRB 460	89
Anexo E: Hoja de Datos Robot Palletizer YASKAWA – MPL80II	90
Anexo F: Hoja de Datos Robot Palletizer KAWASAKI - RD 080	91
Anexo G: Hoja de Datos Controller E32 KAWASAKI	92

## GLOSARIO

**AUTÓMATA:** se entiende por controlador lógico programable (PLC), o autómata programable, a toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales.<sup>1</sup>

**EMBALAJE:** objeto manufacturado que protege, de manera unitaria o colectiva, bienes o mercancías para su distribución física a lo largo de la cadena logística: es decir durante las operaciones de manejo, carga, transporte, descarga, almacenamiento, estiba y posible exhibición<sup>2</sup>.

**ENCODER:** también conocido como **codificador o decodificador** en español, es un dispositivo, circuito, programa de software, un algoritmo o incluso hasta una persona cuyo objetivo es convertir información de un formato a otro con el propósito de estandarización, velocidad, confidencialidad, seguridad o incluso para comprimir archivos<sup>3</sup>.

**FESTO:** proveedor mundial de soluciones de automatización mediante la tecnología neumática, electrónica y de redes para todo tipo de procesos y actividades industriales.

**GRADO DE LIBERTAD (GDL):** cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación de un robot con respecto a la anterior. El número de GDL del robot viene dado por la suma de los GDL de las articulaciones que lo componen<sup>4</sup>.

**ROBOT MANIPULADOR:** son sistemas mecánicos multifuncionales, formados generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinados al agarre y desplazamiento de objetos; con un sencillo sistema de control, que permite gobernar el movimiento de sus elementos<sup>5</sup>.

---

<sup>1</sup> PROFESOR MOLINA: Introducción a los Autómatas Programables. Autómata o PLC [en línea]. Actualizado 01 de marzo del 2012 [Consultado el 19 de Enero del 2016]. Disponible en Internet: <http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/plc/introd.htm>

<sup>2</sup> Ing. José Antonio Rodríguez: Cuando usar las palabras envase, empaque y embalaje. Embalaje [en línea]. Actualizado Mayo del 2005 [Consultado el 19 de Enero del 2016]. Disponible en Internet: < <http://www.elempaque.com/temas/Cuando-usar-las-palabras-envase,-empaque-y-embalaje+4040278> >

<sup>3</sup> LBA Industrial Mining: Encoder [en línea]. México: [Consultado el 20 de Enero del 2016]. Disponible en Internet: < <http://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-un-encoder/> >

<sup>4</sup> BARRIENTOS, Antonio; PENIN, Luís Felipe y BALAGUER, Carlos. Fundamentos de Robótica. McGraw Hill, 1996. p. 17.

<sup>5</sup> BARRIENTOS, Óp. Cit., p. 10. 11 Implementación interfaz de usuario. El medio por el cual interactúan usuario/sistema.

**SOLAPA:** una solapa es la parte lateral superior o inferior de una caja de cartón completamente desarmada, las solapas traen unos finos y pequeños quiebres o dobleces que permiten cerrar y formar la caja. Su fijación se realiza con pegamento.

**TETRA PAK:** es una empresa multinacional fundada en Suecia, que diseña y produce soluciones de envasado de cartón y procesamiento para la Industria alimentaria. Tetra Pak es parte de Tetra Laval Group, que incluye asimismo Delaval y Sidel, empresa especializada en botellas de plástico PET<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Tetra Pak [en línea]. Actualizado 26 de Nov del 2015 [Consultado el 25 de Marzo del 2016]. Disponible en Internet: <http://www.tetrapak.com/co>

## RESUMEN

El presente trabajo muestra el proceso de diseño de un sistema robotizado de bajo costo que permita realizar la tarea de embalaje de un producto en la empresa Alpina Cauca.

El diseño buscó demostrar a la empresa Alpina Cauca, que añadiendo un sistema de Robot manipulador se pueden ampliar las posibilidades de eficiencia al final de la línea. Sin tener que realizar reproceso por un inadecuado embalaje del producto sobre la estiba.

Para poder ejecutar el diseño, se requirió de un proceso de levantamiento de información del sistema actual. Tiempos de salida del producto, velocidad de la banda final por donde se desplaza el producto, velocidades de la máquina envasadora, destreza y habilidad de las personas que realizar el embalaje físicamente.

De acuerdo al proceso de trabajo realizado por las personas y al espacio de trabajo se selecciona la morfología Antropomórfica para el manipulador, esto por la analogía con las extremidades superiores del cuerpo humano y por las ventajas de operación.

Para el efector final, se diseñó un sistema descentralizado con ventosas y válvulas Venturi. Este permitiría sujetar la caja con el producto. Las ventajas de este sistema es el ahorro energético vs una bomba generadora de vacío, tan solo una de las ventajas es que la tobera Venturi actúa cuando se requiere por medio de una electroválvula.

**PALABRAS CLAVES:** Alpina. Embalaje. Espacio de Trabajo. Robot Manipulador. Morfología Antropomórfica. Efector Final. Tobera Venturi. Ventosas.

## INTRODUCCIÓN

La elección de un sistema robótico en una empresa está basada principalmente en un mejoramiento de la productividad y seguridad industrial. En la actualidad, las compañías industriales que no tienen la capacidad económica para adquirir un robot, realizan el proceso de paletizar con recursos humanos. Este proceso manual, requiere suficiente personal para tener la misma velocidad con la que el producto sale de la máquina, implicando un alto desgaste físico para el personal y un gasto elevado para la empresa. Hoy en día se requiere ser competitivo y eficiente para ofrecer productos de calidad y que compitan con otros mercados del medio, por lo que no es la excepción integrar Sistemas Automatizados a procesos que requieren mayor producción y menor tiempo de entrega para cubrir todas las necesidades del cliente final.

El presente proyecto se enfoca entonces, en seleccionar un sistema paletizador que ejecute las trayectorias necesarias para el embalaje del producto sobre estibas o pallets, la ejecución continua de esas trayectorias, permitirá evitar los cuellos de botellas que se producen en la banda transportadora cuando hay cambio de estiba o cuando hay un operario que está relevando y no tiene la misma agilidad. A lo anterior se le suma que el robot paletizador permitirá en un cambio de estiba o pallet hacer la tarea de posicionar producto en otra, mientras es retirada la inicial y se coloca una vacía de nuevo.



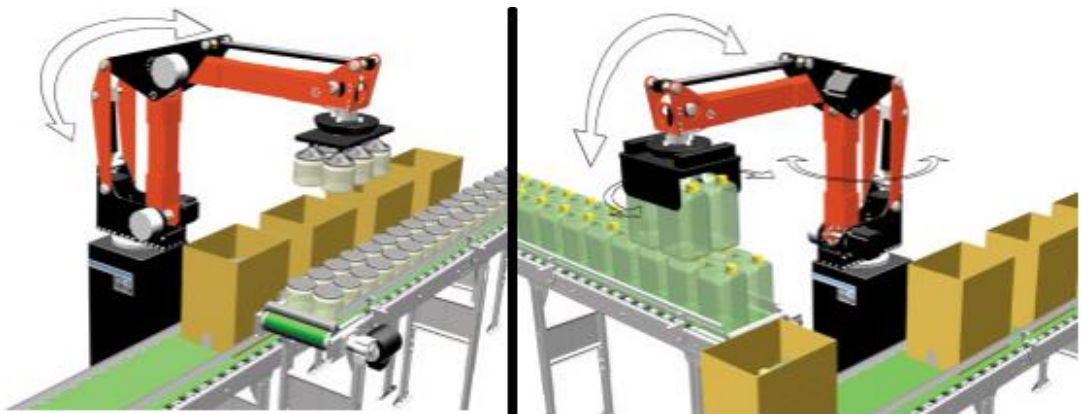
## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 SISTEMA ROBÓTICO

Los sistemas robóticos se crean con un propósito y es el de aumentar un volumen de producción de una compañía manufacturera, objetivo de investigación en este documento. Muchas cuentan con maquinaria y personal humano que se encargan de realizar tareas manuales, con un alto costo para la empresa en tiempo y dinero.

Los sistemas basados en robótica efectúan tareas complejas como el embalaje, paletizado o la preparación de envío con mucha rapidez y eficacia de manera totalmente automatizada durante las 24 horas del día, (ver figura 1).

**Figura 1.** Manipulador Industrial



**Fuente:** Construmatica, Aplicaciones Manipuladores [en línea]. [Consultado el 10 Febrero de 2016]. Disponible en internet:- [http://www.construmatica.com/archivos/28413/peletizacion/robot\\_de\\_brazo\\_articulado\\_robotid.pdf](http://www.construmatica.com/archivos/28413/peletizacion/robot_de_brazo_articulado_robotid.pdf)

## 1.2 CINEMATICA DEL MANIPULADOR

La cinemática se encarga de estudiar el movimiento del robot con respecto al sistema de referencia, permitiendo la identificación de la posición y orientación del elemento final del robot sin considerar las fuerzas o momentos que originan el movimiento. La cinemática de un manipulador se divide en dos etapas: directa e inversa.

**1.2.1 Cinemática Directa.** Se encarga de determinar la posición del elemento final con respecto al sistema de referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos del robot y los parámetros geométricos de los elementos o eslabones del robot.

Cuando se trabajan con coordenadas cartesianas y ángulos Euler para representar la posición y orientación del extremo de un robot de  $n$  grados de libertad, se expresa con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}x &= f_x(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \dots, \theta_n) \\y &= f_y(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \dots, \theta_n) \\z &= f_z(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \dots, \theta_n)\end{aligned}\tag{1}$$

Mediante el problema cinemático directo se busca establecer o determinar una matriz de transformación que permita relacionar el sistema de coordenadas ligado a cada eslabón con respecto al sistema de coordenadas de referencia.

La matriz de transformación homogénea,  $T$ , está compuesta por cuatro submatrices de tamaños diferentes, estas son: una submatriz de rotación,  $R_{3 \times 3}$ , un vector columna de traslación,  $P_{3 \times 1}$ , una submatriz que representa una transformación de perspectiva,  $f_{1 \times 3}$  y una submatriz que representa un escalado global  $w_{1 \times 1}$ .

$$T = \begin{bmatrix} \text{Rotacion} & \text{Traslacion} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escalado} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & w_{1 \times 1} \end{bmatrix}\tag{2}$$

Las dos primeras matrices son las más importantes en el tema de la robótica, haciendo la matriz de perspectiva nula y la submatriz de escalado global es una constante de valor uno.

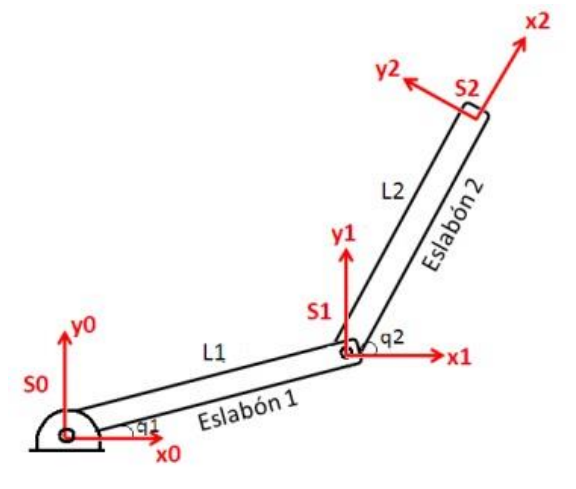
$$T = \begin{bmatrix} \text{Rotacion} & \text{Traslacion} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\tag{3}$$

Un robot de n grados de libertad que esté formado por n eslabones unidos por n articulaciones, constituye un grado de libertad. A cada eslabón se le asocia un sistema de referencia solidario a él y, utilizando matrices de transformación homogénea, es posible representar las rotaciones y traslaciones relativas entre los distintos eslabones que componen el robot.

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & L_1\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & L_1\sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

La matriz de transformación homogénea representa la posición y orientación relativa entre los sistemas de coordenadas asociados a dos eslabones consecutivos del robot ver ecuación ver ecuación (4). Por ejemplo: la figura 2 representa la posición y orientación del sistema de referencia solidario al primer eslabón, {S1}, con respecto al sistema de referencia solidario a la base, {S0}, (ver ecuación (4)).

**Figura 2.** Posicionamiento del Sistema Geométrico



**1.2.2 Parámetros de Denavit-Hartenberg.** Para hallar los parámetros de Denavit-Hartenberg se hace uso de los siguientes pasos<sup>7</sup>:

- Definir las direcciones de los ejes **Z0, Z1,...Zn-1**
- Definir el origen Oo del sistema de coordenadas de la base del eje Z0
- Definir el origen Oi en la intersección Zi con la normal común entre los ejes Zi-1 y Zi
- Escoger el eje Xi a lo largo de la normal común a los ejes Zi-1 y Zi con dirección de la articulación i+1.
- Escoger el eje Yi, para que con Xi se cumpla la regla de la mano derecha.
- Escoger el sistema de coordenadas de la herramienta donde Xn sea normal a Zn-1
- Para i=1,2,...n construir una tabla con los parámetros de ai, di,  $\alpha_i$ ,  $\Theta_i$
- Con estos parámetros se calculan las matrices de transformación homogéneas.

Una vez obtenidos los parámetros se representan en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Tabla de Parámetros Denavit-Hartenberg

Articulación	$\alpha_1$	$a_1$	$\phi_1$	$d_1$
1				
.				
n				

**1.2.3 Cinemática Inversa.** La Cinemática Inversa permite determinar el valor de las coordenadas articulares o la configuración que debe adoptar el robot conociendo la posición y orientación del efector final. Es claro que esta cinemática no tiene una solución única, pues es posible alcanzar un punto específico en el espacio de trabajo del manipulador utilizando dos configuraciones diferentes.

Una manera de hallar las coordenadas articulares (a las cuales se les denomina **q** o también se les denomina  $\theta$ ), es hacer uso de la geometría, partiendo de una configuración base y analizando cuales son las articulaciones necesarias para dirigir el efector final hasta cierto punto.

Existen diferentes metodologías para solucionar la cinemática inversa, desde métodos geométricos, métodos cerrados basados en matrices de

<sup>7</sup> CAVAJAL, Jaime. Modelamiento y Diseño de Robots Industriales. Colombia. Unisalle, 2007, 390p.

transformación homogéneas, como el método de Paul, hasta métodos diferenciales genéricos como los basados en matrices jacobianas.

### 1.3 DINAMICA DEL MANIPULADOR

La dinámica se ocupa de la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el movimiento que en él se origina<sup>8</sup>.

Existen dos metodologías que permiten desarrollar el modelo matemático de la dinámica de un robot industrial: La metodología de Newton-Euler y la metodología de LaGrange – Euler.

**Metodología LaGrange – Euler:** Esta metodología analiza el sistema mecánico como un todo viéndolo desde el punto de vista energético<sup>9</sup>. En el procedimiento de su obtención se determina un conjunto de coordenadas generalizadas, es decir, se escogen solo las variables de interés o sea la posición de cada unión.

La formulación de LaGrange-Euler se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = \tau \quad (5)$$

$$L = K - P$$

Donde

$L$ = Representa el Lagrangiano y es la diferencia entre la energía cinética y la energía potencial.

$K$ = Energía cinética del robot.

$P$ = Energía potencial del robot.

$q$ = Variables de la articulación compuestas por ángulos  $\Theta_i$  o desplazamientos  $d_i$ .

$\tau$ = Es el vector con componente  $T_i$  de torques de los ángulos de las articulaciones y  $F_i$  de la Fuerza de los desplazamientos en las articulaciones.

---

<sup>8</sup> BARRIENTOS, Óp. Cit., p. 215.

<sup>9</sup> BARRIENTOS, Óp. Cit., p. 216

**Metodología Newton Euler:** Con este método se calcula la dinámica inversa del manipulador, es decir, las fuerzas generalizadas requeridas en las uniones para un conjunto de coordenadas, velocidades y aceleraciones generalizadas. La recursión directa propaga información cinemática (como velocidades angulares, aceleraciones angulares, aceleraciones lineales) desde el marco base (eslabón 0) hasta el efector final. La recursión inversa propaga las fuerzas y los momentos que se encuentran en los eslabones, desde el efector final hasta el marco base.

El método iterativo de Newton-Euler comienza calculando las velocidades y aceleraciones desde la base hasta el extremo (iteraciones salientes) y luego vuelve desde el extremo hasta la base calculando fuerzas y momentos de giro (ecuaciones entrantes). Las ecuaciones presentadas están basadas en el libro de robótica, así como las figuras. Si conocemos la ubicación del centro de masas y el tensor de inercia del vínculo, entonces su distribución de masa está totalmente caracterizada. Para mover los vínculos debemos acelerarlos y desacelerarlos. Las fuerzas requeridas para dichos movimientos son una función de la aceleración deseada y de la distribución de la masa de los vínculos. La ecuación de Newton, junto con su análoga de rotación, la ecuación de Euler, describe la manera en que se relacionan las fuerzas, inercias y aceleraciones.

## 1.4 EFECTOR FINAL DEL MANIPULADOR

Considerado en la analogía de las manos humanas como la muñeca, ya que permite al Robot tener una funcionalidad sobre los objetos que desee sujetar y de la gran cantidad de operaciones que estas puedan realizar.

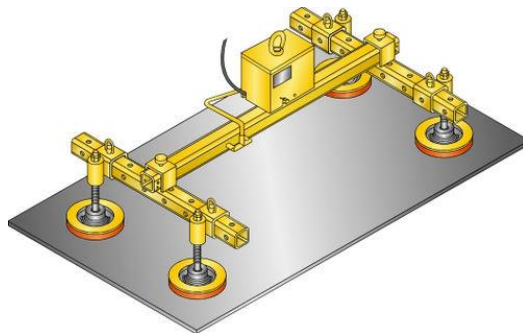
**1.4.1 Configuraciones de Efectores Finales.** Los efectores finales también son llamados Grippers. Así como los robots se encuentran en diferentes morfologías o configuraciones, estos se clasifican como:

- Gripper de Vacío

En este sistema se utilizan copas o ventosas de succión, fabricadas de materiales de caucho natural o sintético. El número de ventosas determina el peso y el tamaño del objeto a sujetar.

Éste sistema se utiliza para la transportación de piezas con superficies delicadas, como por ejemplo; aparatos electrónicos, cajas, superficies suaves, etc. (Ver figura 3).

**Figura 3.** Gripper de Vacío



**Fuente:** Direct Industry, Elevador para vacío [en línea]. [Consultado el 10 de Enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.directindustry.es/prod/acc-material-handling-solutions/product-55180-873337.html>

- Gripper Electroneumáticos

Comúnmente utilizados para sujetar desechos o partes de metales como hierro. Su función radica en un electroimán o imán permanente que actúa sobre los objetos metálicos.

Una desventaja de este sistema es que los objetos tienden a caerse con movimientos rápidos

- Gripper digital - mecánico.

Los más comunes, pueden ser angular o paralelo, también se encuentran las tanzas o pinzas “muy similares a los dedos humanos” (ver figura 4). Este dispositivo se descarta como elemento final para la sujeción de la caja en este proyecto. La razón es, cuando se requiere acomodar una caja en medio de otras dos, lo que va a ocurrir es que las pinzas desplazarían las cajas exactamente el equivalente al grosor del material con el que estén fabricadas.

**Figura 4.** Gripper Mecánico Tipo Pinza



**Fuente:** Súper Robótica, Brazo Robot [en línea]. [Consultado el 23 de Enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.superrobotica.com/S300100.htm>

Se afirma entonces, la gran variedad de efectores finales utilizados para diversas aplicaciones. El caso de estudio y de diseño para este proyecto es el Gripper de vacío.



**1.4.2 Fuentes Generadoras de Vacío.** Para aplicaciones industriales o manipuladores hay dos clases de sistemas de generadores de vacío:

**Bomba de Vacío:** Cuando se hace referencia al vacío se piensa en una bomba (ver figura 5) con un tanque de apoyo, es decir un tanque sometido a presión negativa. Accionado por un motor eléctrico y acoplado a una cámara de succión regido por el principio de desplazamiento rotatorio, donde se transportan las partículas dentro del tanque hacia la intemperie, obteniendo como resultado dentro del recipiente, una presión menor a la atmosférica, hasta alcanzar un valor negativo capaz de ser utilizada para realizar un trabajo<sup>10</sup>.

**Figura 5.** Bomba Generadora de Vacío



**Fuente:** 3B Scientific, Bomba de Vacío [en línea]. [Consultado el 30 Enero de 2016]. Disponible en internet: [https://www.a3bs.com/bomba-de-vacio-rotativa-a-paletas-dos-etapas-u34000,p\\_588\\_14960.html](https://www.a3bs.com/bomba-de-vacio-rotativa-a-paletas-dos-etapas-u34000,p_588_14960.html)

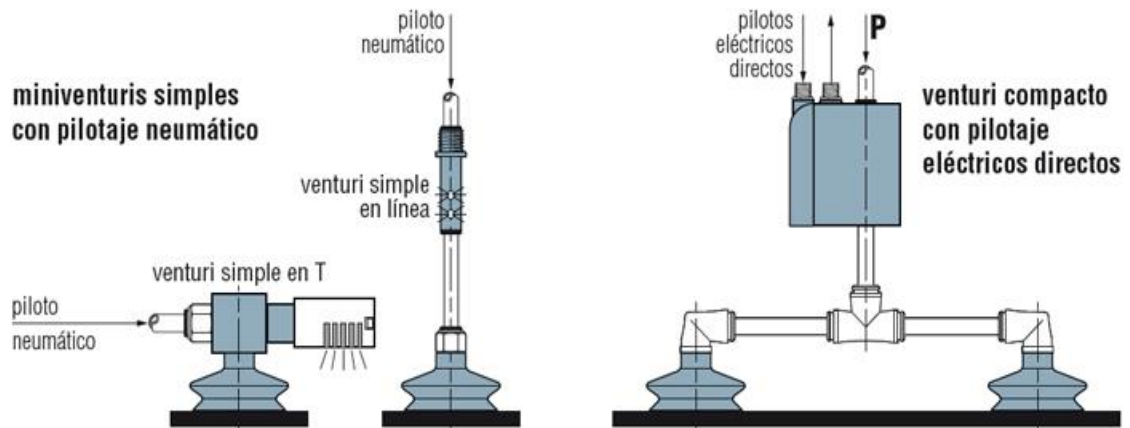
Este dispositivo además de ser costoso implica otro factor, y es el consumo de energía eléctrica. La empresa Alpina requiere un sistema más económico e igualmente efectivo como generador.

**Válvula Venturi:** Las bombas de vacío Venturi (ver figura 6) están indicadas para todas las aplicaciones comunes de agarre por vacío. Compactos y ligeros, los Venturi se implantan lo más cerca posible de las ventosas: pocas pérdidas de carga y volumen a vaciar mínimo, por lo que los tiempos de respuesta son breves y la energía consumida mínima.

---

<sup>10</sup> Quiminet. Funcionamiento de una Bomba de Vacío [en línea]. [Consultado el 20 de Febrero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-de-una-bomba-de-vacio-y-sus-caracteristicas-62213.htm>

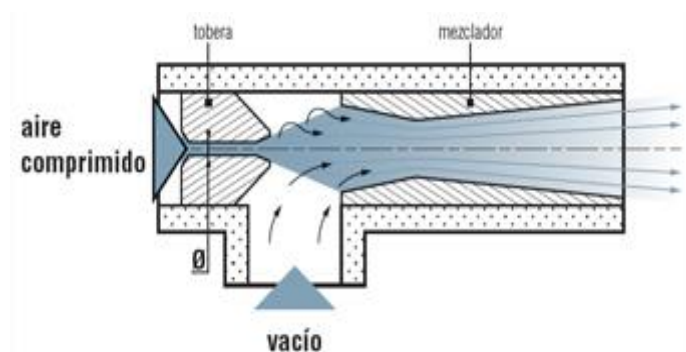
**Figura 6.** Venturi para Vacío



**Fuente:** Coval, Generador Venturi [en línea]. [Consultado 30 Enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.coval-iberica.com/la-tecnologia-de-vacio/guia-de-la-manipulacion-por-vacio/generacion-de-vacio/>

**1.4.3 Principio de Funcionamiento Generador de Vacío Venturi.** Una tobera de diámetro  $\emptyset$  se alimenta con aire comprimido. El chorro de aire creado arrastra en sus turbulencias el aire ambiente que luego pasa al mezclador para ser expulsado. (Ver figura 7). Esta acción crea la depresión que genera el vacío deseado<sup>11</sup>.

**Figura 7.** Principio de Vacío en Venturi



**Fuente:** Coval, Principio de Vacío Venturi [en línea]. [Consultado el 01 de Febrero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.coval-iberica.com/la-tecnologia-de-vacio/guia-de-la-manipulacion-por-vacio/generacion-de-vacio/>

<sup>11</sup> Coval, Principio de Funcionamiento Vacío Venturi [en línea]. [Consultado el 01 de Febrero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.coval-iberica.com/la-tecnologia-de-vacio/guia-de-la-manipulacion-por-vacio/generacion-de-vacio/>

**1.4.4 Selección de la Ventosa de Succión.** Para la selección de la ventosa de succión se debe tener las condiciones y características del material del producto u objeto que se va a sujetar. A continuación se detallaran de acuerdo al objeto de estudio:

- Características de la pieza de trabajo.
- Evaluación de las condiciones del sistema.
- Determinación del nivel de vacío.
- Cálculo del diámetro de la ventosa.
- Determinación de la forma y material de la ventosa.

**1.4.5 Características De La Pieza De Trabajo.** El objeto que se requiere sujetar y que es motivo de estudio debe ser analizado de acuerdo a ciertos criterios los cuales se detallaran a continuación:

- **Condiciones de la superficie:** coeficiente de fricción, material poroso o no poroso. Para un material no-poroso el nivel del vacío que se alcanza en el flujo es teóricamente cero. Para el material poroso, el generador de vacío debe superar la cantidad de aire que constantemente se está escapando a través del material para mantener el nivel de vacío deseado.
- **Forma:** área del vacío, plano o curvo, dentado.
- **Temperatura:** la indicada para el material de la ventosa.
- **Rigidez:** al trabajar con piezas delgadas fácilmente puede ser deformada, por lo tanto el nivel del vacío debe manejarse a un mínimo para asegurar la fuerza necesaria.
- **Dimensiones:** para una pieza grande, usa una ventosa de área ancha para prevenir deflexiones.

**1.4.6 Condiciones del Sistema.** Para seleccionar una o un grupo de ventosas se debe tener en cuenta del sistema lo siguiente:

**Condición de transporte:** Se debe tener presente si el levantamiento es horizontal o vertical. De acuerdo a lo anterior se requiere para este proyecto un levantamiento Vertical. (Ver figura 8).

### Levantamiento Vertical

La pieza es alzada por una fuerza de trabajo creada por presión del vacío en el área eficaz de la ventosa y a presión atmosférica.

$$F = P \times A \quad (6)$$

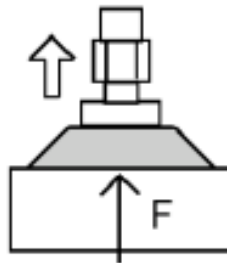
Dónde:

F= Fuerza de levantamiento

A= Área eficaz de la ventosa de succión.

P= Nivel (presión) de vacío.

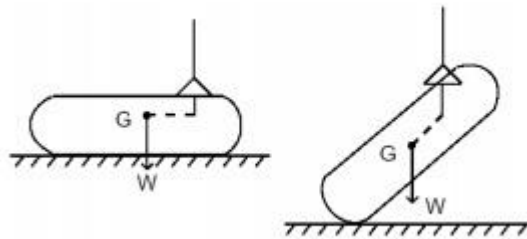
**Figura 8.** Levantamiento Vertical y Pieza Horizontal



**Fuente:** Levantamiento Vertical de una ventosa [en línea]. [Consultado el 03 Febrero de 2016]. Disponible en internet: <http://tesis.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/16156/1/Dise%C3%83%C2%B1o%20de%20un%20efector%20final%20de%20ventosa%20por%20vac%C3%83%C2%ADo.pdf>

**Centro de Gravedad (Equilibrio del sistema de ventosas):** En la mayoría de las consideraciones de diseño, es ventajoso posicionar la ventosa del vacío en el centro de gravedad de la pieza de trabajo. Si están usándose más de una ventosa, es decir un sistema múltiple (como el que debe usarse en este proyecto debido al peso de la caja), la pieza de trabajo debe estar en equilibrio con las ventosas del sistema. La figura 9 ilustra la situación anteriormente planteada.

**Figura 9.** Estabilidad del Sistema de Vacío.



**Fuente:** Estabilidad en el centro de gravedad [en línea]. [Consultado el 03 Febrero de 2016]. Disponible en internet: <http://tesis.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/16156/1/Dise%C3%83%C2%B1o%20de%20un%20efector%20final%20de%20ventosa%20por%20vac%C3%83%C2%ADo.pdf>

**1.4.7 Determinación de Nivel de Vacío, selección de la Ventosa.** Para determinar la fuerza de un tamaño de ventosa de vacío y/o el número de ventosas utilizadas en una aplicación, se puede utilizar la siguiente ecuación para calcular la fuerza de levantamiento:

$$F = P \times A$$

Dónde:

F= Fuerza de levantamiento

P= Presión de vacío.

A= Área eficaz de la ventosa, siendo esta:

$$A = \frac{W \times S}{P} \quad (7)$$

Dónde:

W= Peso de la Pieza de Trabajo

S= Factor de seguridad

**S** es determinado por el cliente en base a los requisitos de seguridad en la aplicación. Este parámetro está influenciado por varias condiciones pero no se limita a:

- La fricción
- La aceleración.
- La dirección de levantamiento (vertical u horizontal).
- El tipo de pieza de trabajo.

En general, el valor de factor recomendado de seguridad  $S$  es:

Desplazamiento horizontal Estático= 2  
Dinámico= 4

Desplazamiento vertical Estático= 4  
Dinámico= 8

Las condiciones de transporte planteadas anteriormente, quedarían con las siguientes expresiones:

a) Movimiento Vertical y pieza en posición horizontal

$$F_L = m(g + a) \cdot S \quad (8)$$

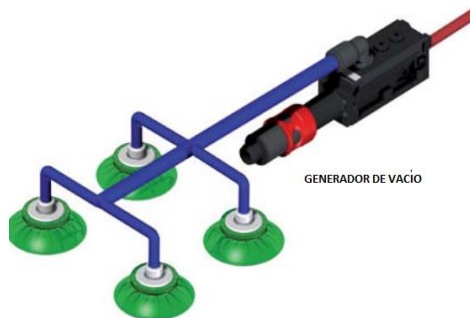
b) Movimiento Horizontal y pieza en posición horizontal.

$$F_L = m \left( g + \frac{a}{\mu} \right) \cdot S \quad (9)$$

Se puede consultar con las especificaciones del fabricante para la selección de la ventosa, (ver Anexo C).

**1.4.8 Sistema Centralizado.** En sistemas de vacío que contienen más de una ventosa, un sistema centralizado ofrece inversión menor al inicio, pero, a costa de seguridad, tiempo de respuesta y, en la mayoría de los casos eficiencia.

**Figura 10.** Sistema de Vacío Centralizado.



**Fuente:** Rodavigo. Sistema Centralizado [en línea]. [Consultado el 03 Febrero de 2016]. Disponible en internet: <https://rodavigo.net/catalogos/PIAB/Tecnolog%C3%ADa%20de%20vac%C3%A9o/PIAB%2006%20Bomba%20y%20garra%20combinada.pdf>

**1.4.9 Sistema Descentralizado.** En un sistema de vacío que contiene más de una ventosa, el sistema descentralizado de vacío ofrece la mejor seguridad, economía y tiempo de respuesta. Se reduce el tiempo de respuesta considerablemente sin evacuar volúmenes innecesarios. Además, cada ventosa funciona en forma independiente, en caso de una pérdida de presión en una ventosa no afectará a las demás.

**Figura 11.** Sistema de Vacío Descentralizado.



**Fuente:** Rodavigo. Sistema descentralizado [en línea]. [Consultado el 03 Febrero de 2016]. Disponible en internet: <https://rodavigo.net/catalogos/PIAB/Tecnolog%C3%ADas%20de%20vac%C3%A1do/PIAB%2006%20Bomba%20y%20garra%20combinada.pdf>

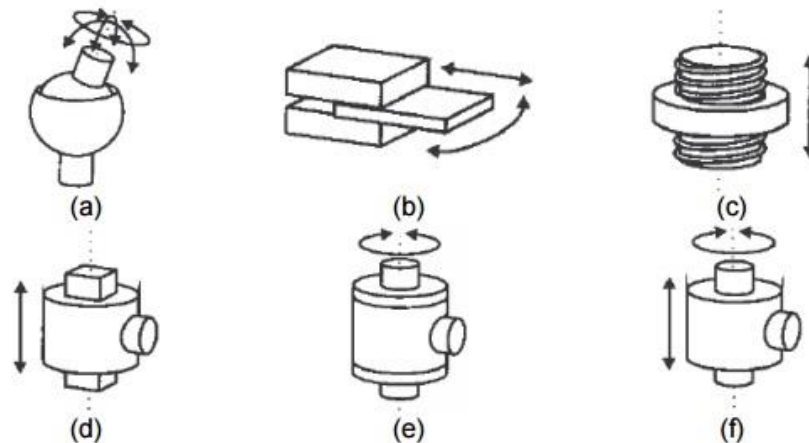
## 1.5 MORFOLOGÍA DE UN ROBOT

La morfología se refiere a la constitución física del robot en la cual se observa la composición de este, identificando cada una de sus partes. La configuración de los robots industriales usualmente se asemeja al cuerpo humano, es decir, posee un cuerpo y un brazo. Por lo general el cuerpo se encuentra en una parte fija de la mesa o está montado sobre un riel y el brazo es el encargado de realizar las tareas ordenadas. Las partes que conforman un robot se pueden dividir en las siguientes:

A continuación se realizará la descripción de cada uno de los puntos mencionados anteriormente.

**1.5.1 Cadena Cinemática.** La cadena cinemática se refiere un conjunto de cuerpos rígidos unidos entre sí mediante articulaciones (“ver figura 12”). Los movimientos de cada una de las articulaciones asociado a los movimientos del brazo o cuerpo del robot se denomina grado de libertad. Las articulaciones de los robots industriales realizan un movimiento relativo de las uniones contiguas, estos movimientos pueden ser lineales o rotacionales o en ocasiones una combinación de los dos, determinando diferentes tipos de configuraciones las cuales se observan en la figura 13.

**Figura 12.** Articulaciones de un Robot.



**Fuente:** BARRIENTOS, Antonio; PEÑIN, Luís Felipe y BALAGUER, Carlos. Fundamentos de Robótica. McGraw Hill, 1996. p. 18.

La configuración cartesiana permite que cada una de sus articulaciones se deslice en línea recta a través de los ejes de coordenadas XYZ, esta configuración forma un poliedro en su espacio de trabajo.

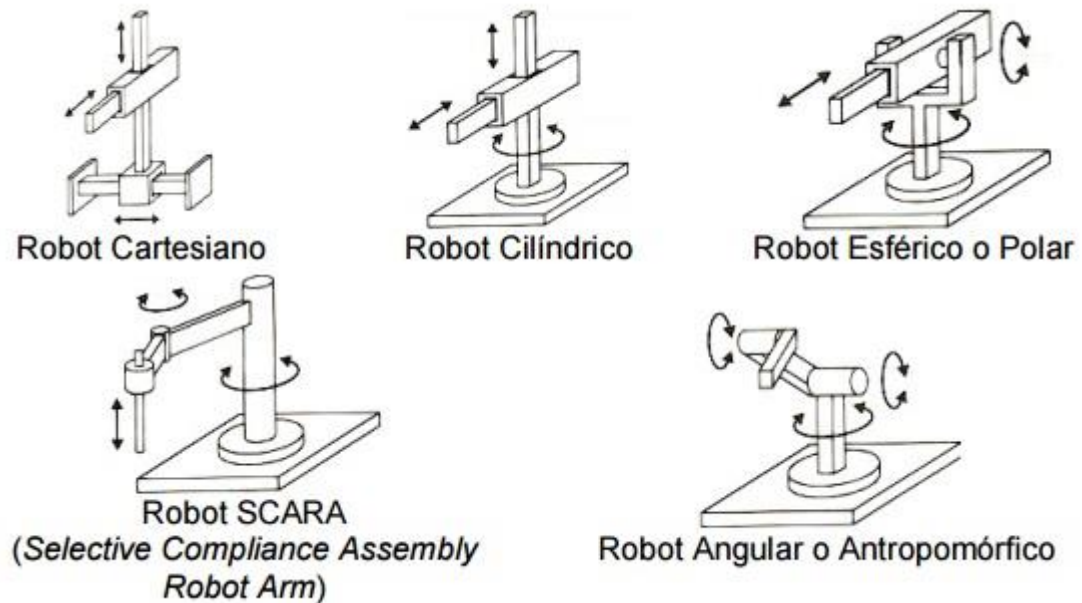
La configuración cilíndrica utiliza un dispositivo deslizante que se mueve a través de una columna, este a su vez se encuentra unido a un dispositivo que le permite realizar un movimiento radial con respecto a la columna. Esta combinación de movimientos genera un espacio de trabajo aproximado a un cilindro.

La configuración de tipo Scara, tiene 4 grados de libertad con posición horizontal, se conocen por sus rápidos ciclos de trabajo, gran capacidad de carga y su amplio campo de aplicación. Similar al de configuración cilíndrica, pero el radio y la rotación se obtiene por uno o dos eslabones. Este brazo puede realizar movimientos horizontales de mayor alcance debido a sus dos articulaciones rotacionales.



La configuración de tipo antropomórfica, se asemeja al brazo humano; por lo tanto consta de antebrazo y brazo, están conectados a dos articulaciones giratorias denominadas codo y hombro.

**Figura 13.** Morfologías de un Robot Paletizador



**Fuente:** BARRIENTOS, Antonio; PEÑIN, Luís Felipe y BALAGUER, Carlos. Fundamentos de Robótica. McGraw Hill, 1996. p. 18.

En cuanto a ventajas y desventajas de cada una de las configuraciones, estas están directamente relacionadas a su geometría. Los robots cartesianos presentan ventajas en cuanto a repetitividad en los movimientos, ya que su estructura es fija, pero presenta desventaja en cuanto al alcance, donde las configuraciones esféricas y antropomórficas son las ideales.

## 1.6 PALETIZAR

Paletizar o Estibar se define como la acción de agrupar sobre una superficie (pallet, tarima, paleta ver figura 14) una cierta cantidad de materia que en forma individual resulta poco manejables, pesados o voluminosos; o bien objetos fáciles de desplazar pero numerosos; cuya manipulación y transporte requerirían de mucho tiempo y trabajo; con la finalidad de conformar una unidad de manejo que pueda ser transportada y almacenada con el mínimo esfuerzo y en una sola operación y en un tiempo muy corto.

**Figura 14.** Pallet o Estiba.



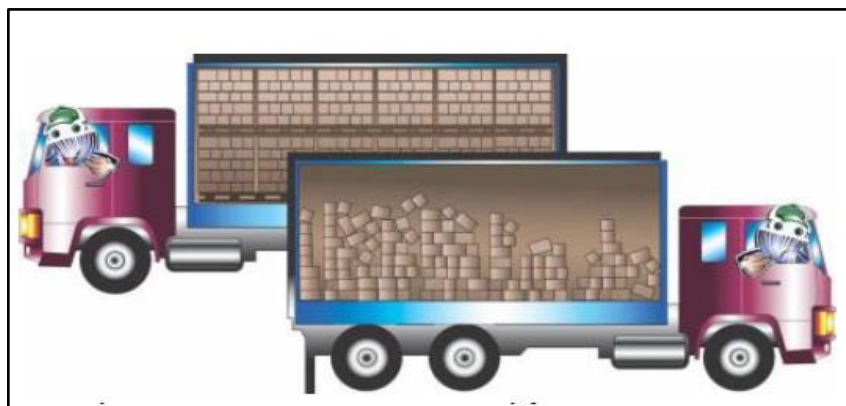
**Fuente:** Chep, Paletas de Madera. [En línea]. [Consultado el 8 Diciembre de 2015]. Disponible en internet: [http://www.chep.com/pallets/wooden\\_pallets/](http://www.chep.com/pallets/wooden_pallets/).

**1.6.1 Ventajas Del Proceso De Paletizado.** A continuación se detalla una lista de las principales ventajas que conlleva el sistema de paletizado:

- Aumento en la productividad.
- Disminución de los tiempos de carga, descarga y almacenamiento.
- Menor cantidad de mano de obra en las operaciones.
- Disminuye los daños de los productos al reducirse la manipulación.
- A nivel general hace más eficiente el uso de la flota de transporte.

Este proceso es vital importancia en la industria manufacturera, aunque es un proceso final y que no compete con el objetivo de investigación, se puede observar en la figura 15, que si no existieran métodos de paletización las mercancías sufrirían daños, por lo tanto las pérdidas serian incalculables.

**Figura 15.** Transporte Estibado / Sin Estibar.



**Fuente:** Chep, Medios de Transporte. [En línea]. Consultado el 8 de Diciembre de 2015. Disponible en internet: [http://www.chep.com/pallets/wooden\\_pallets/](http://www.chep.com/pallets/wooden_pallets/).

## 1.7 TIPOS DE CONTROLES PARA UN MANIPULADOR

Los robots manipuladores en las industrias se pueden clasificar en cuatro categorías en el sistema de control:

**Los robots de secuencia limitada:** representan el nivel bajo y los robots inteligentes el más sofisticado. Los robots de secuencia limitada no utilizan un servo motor para indicar las posiciones de las articulaciones; estos se controlan a través de interruptores de fin de carrera o topes mecánicos para establecer los puntos finales de desplazamientos. La desventaja de este método es que el robot solo está limitado a desplazamientos extremos limitados por sensores.

La secuencia en la que se produce el ciclo de movimiento se define por un conmutador pasa o paso, una placa de clavijas u otro dispositivo de secuencia. Este dispositivo señala a cada uno de los actuadores en que secuencia debe ir. Este tipo de robots no cuentan con dispositivos de realimentación para verificar si alcanzo o no la posición deseada. Para este tipo de robots se suele utilizar con mayor frecuencia el sistema de impulsión neumática aunque puede utilizarse cualquier otro.

**Los robots de reproducción:** cuentan con una unidad de control más compleja, en la que una serie de posiciones y movimientos son programados al robot y son almacenados en una unidad de memoria para posteriormente ser reproducidos en la aplicación requerida. Este tipo de robots a diferencia de los anteriormente mencionados, cuentan con un tipo de servocontrol para verificar si las posiciones y movimiento realizados fueron los que se le programaron. Se pueden clasificar en dos categorías un robot punto a punto (PTP) y un robot de trayectoria continua (CP). Los robots PTP realizan ciclos de movimientos que consisten en la localización de una serie de puntos deseados y acciones a fines. Al robot se le programa cada punto y se almacena en la unidad de control y se reproduce posteriormente en la secuencia correcta.

Los CP realizan ciclos de movimiento en la que se controla la trayectoria seguida por el robot. Esto se realiza mediante el desplazamiento del robot en una serie de puntos próximos. Los puntos individuales los define la unidad de control y no el programador. Un ejemplo es cuando se define el punto inicial y final por el programador y la unidad de control calcula la secuencia de puntos individuales que permiten seguir una trayectoria de línea recta. Algunos robots tienen la capacidad de seguir una línea curva suave definida por el programador que desplaza el brazo manualmente a través del ciclo de movimiento deseado. Para conseguir un control de trayectoria más allá de los límites de extensión es necesario que la unidad de control pueda almacenar un gran número de posiciones y puntos individuales que definan las trayectorias

curva compuesta, esto hoy en día se hace mediante un computador que actúa como una unidad de control.

**Los robots inteligentes:** constituyen una clase cada vez más vista dentro de las industrias no solo por reproducir una serie de ciclos de movimiento programados sino también por interaccionar con su entorno. Su controlador consiste en un computador o un controlador programable. Estos robots pueden modificar su ciclo programado según las condiciones de su volumen de trabajo, toman decisiones lógicas de acuerdo a los datos obtenidos de los sensores, se comunican con los humanos y con otros dispositivos basados en computadora durante la realización de un ciclo de trabajo. Estos robots se programan mediante un lenguaje de alto nivel para realizar actividades complejas.

**1.7.1 Controlador Lógico Programable (PLC).** Las empresas que piensan en el futuro se encuentran provistas de modernos dispositivos electrónicos en sus máquinas y procesos de control. En la actualidad, las fábricas automatizadas deben proporcionar en sus sistemas: alta confiabilidad, gran eficiencia y flexibilidad. Una de las bases principales de dichas fábricas es un dispositivo electrónico llamado Controlador Lógico Programable (PLC) Hoy los Controladores Lógicos Programables son diseñados usando lo último en diseño de microprocesadores y circuitería electrónica, esto proporciona una mayor confiabilidad en su operación, así como también en las aplicaciones industriales donde existen peligros ambientales: alta repetibilidad, elevadas temperaturas, ruido ambiente o eléctrico, suministro de potencia eléctrica no confiable, vibraciones mecánicas, entre otros.

Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC – Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

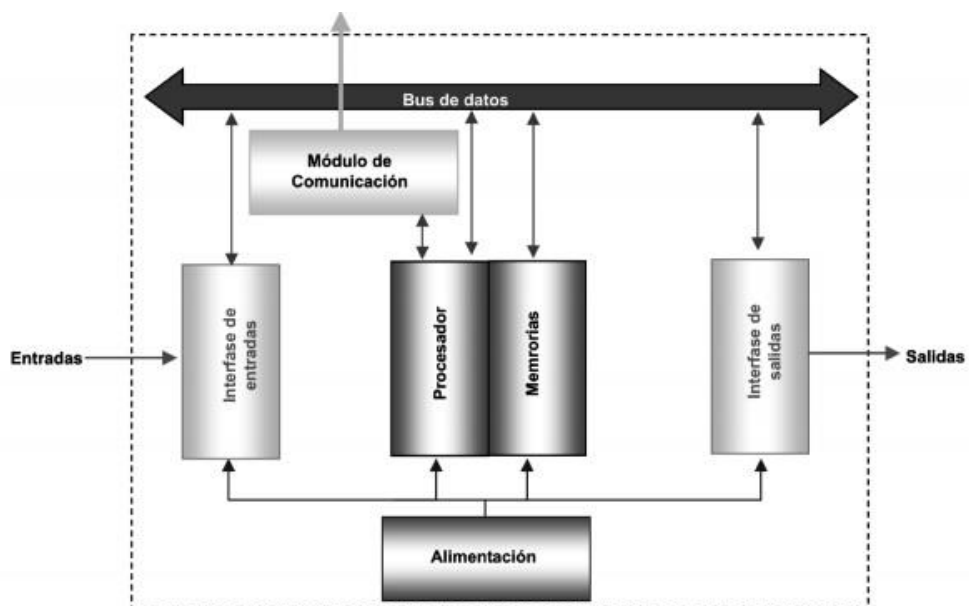
**1.7.2 Estructura del PLC.** Un controlador lógico programable está constituido por un conjunto de tarjetas o circuitos impresos, sobre los cuales están ubicados componentes electrónicos.

El controlador Programable tiene la estructura típica de muchos sistemas programables (ver figura 16), como por ejemplo un computador. La estructura básica del hardware de un controlador Programable propiamente dicho está constituido por:

- Fuente de alimentación
- Unidad de procesamiento central (CPU)
- Módulos de interfaces de entradas/salidas (E/S)
- Módulo de memorias
- Unidad de programación

En algunos casos cuando el trabajo que debe realizar el controlador es más exigente, se incluyen Módulos Inteligentes.

**Figura 16.** Estructura de un PLC.



**Fuente:** Estructura de un PLC [en línea]. [Consultado el 11 de Marzo de 2016]. Disponible en internet: <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLogicoProgramablePLC.pdf>

**Fuente de alimentación:** La función de la fuente de alimentación en un controlador, es suministrar la energía a la CPU y demás tarjetas según la configuración del PLC.

- + 5 V para alimentar a todas las tarjetas
- + 5.2 V para alimentar al programador
- + 24 V para los canales de lazo de corriente 20 mA.

**Unidad de procesamiento central (CPU):** Es la parte más compleja e imprescindible del controlador programable, que en otros términos podría considerarse el **cerebro** del controlador.

La unidad central está diseñada a base de microprocesadores y memorias; contiene una unidad de control, la memoria interna del programador RAM, temporizadores, contadores, memorias internas tipo relé, imágenes del proceso entradas/salidas, etc. Su misión es leer los estados de las señales de las entradas, ejecutar el programa de control y gobernar las salidas, el procesamiento es permanente y a gran velocidad.

**Módulos de interfaces de entradas/salidas (E/S):** Son los que proporciona el vínculo entre la CPU del controlador y los dispositivos de campo del sistema. A través de ellos se origina el intercambio de información ya sea para la adquisición de datos o la del mando para el control de máquinas del proceso. Debido a que existen gran variedad de dispositivos exteriores (captadores actuadores), encontramos diferentes tipos de módulos de entrada y salidas, cada uno de los cuales sirve para manejar cierto tipo de señal (discreta o analógica) ha determinado valor de tensión o de corriente en DC o AC.

- Módulos de entradas discretas
- Módulos de salidas discretas
- Módulos de entrada analógica
- Módulos de salida analógica

**Módulo de memorias:** Son dispositivos destinados a guardar información de manera provisional o permanente, hay dos tipos de memorias; Volátiles (**RAM**), No volátiles (**EPROM y EEPROM**).

**Unidad de programación:** Los terminales de programación, son el medio de comunicación entre el hombre y la máquina; estos aparatos están constituidos por teclados y dispositivos de visualización

Existen tres tipos de programadores los manuales (**Hand Held**) tipo de calculadora, Los de video tipo (**PC**), y la (**computadora**).

**1.7.3 Precisión en el movimiento del Manipulador.** Las características primordiales dentro del funcionamiento de un robot manipulador son las siguientes:

- **Resolución espacial:** Se entiende por resolución espacial, como el más mínimo incremento de movimiento en el que el robot puede medir su volumen de trabajo y esto depende de dos factores importante.

El primero de ellos es la resolución de control del sistema que viene determinada por el sistema de control de posición del robot y su sistema de medid de realimentación.

- **Exactitud:** La exactitud es la capacidad que tiene el robot para situar el efector final en el punto final deseado dentro del volumen de trabajo. También se puede definir en términos de resolución espacial, pues la capacidad de alcanzar un punto destino determinado depende de que tan próximos pueda el robot definir los incrementos de control para cada uno de sus movimientos de articulaciones. En el caso más desfavorable el punto deseado estaría en medio de dos incrementos de control.

En el casi más desfavorable podemos definir a la exactitud, como la mitad de la resolución de control.

- **Repetibilidad:** Este término se refiere a la capacidad que tiene el robot de situar el efector final en un punto en particular el cual fue programado con anterioridad. La repetibilidad no solo se refiere a que se alcance el punto deseado sino además de que lo haga cuando se le ordene.

## **1.8    SENSORES PARA MANIPULADORES ROBOTICOS**

Los sensores empleados como periféricos en la robótica incluyen tipos simples como los interruptores de fin de carrera y tan sofisticados como los sistemas de visión. También los sensores se utilizan como componentes integrales del sistema de control en la realimentación de posiciones del robot. Dentro de los sensores se dividen en las siguientes categorías.

**Sensores táctiles:** Este tipo de sensores responden a fuerzas de contacto con algún otro objeto. Estos dispositivos son capaces de medir la fuerza aplicada.

**Figura 17.** Sensor Táctil.

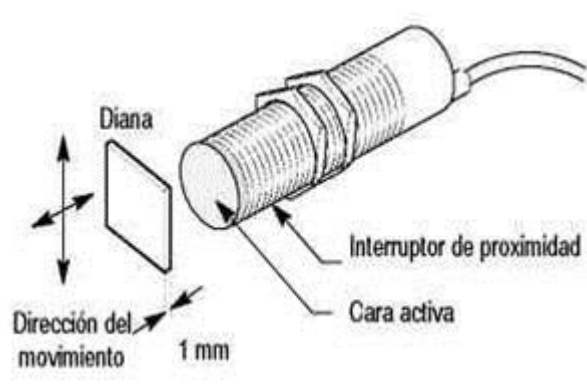


**Fuente:** Sensor de Táctil [en línea]. [Consultado el 13 de Marzo de 2016]. Disponible en internet: <http://www.robotnik.es/shadow/>

**Sensores diversos:** En este grupo se mencionan algunos en los que se utilizan en sistemas más complicados. Tales como los de temperatura, presión y otras variables.

**Sensores de proximidad y alcance:** Estos dispositivos indican la proximidad de un objeto antes de que se produzca el contacto. Cuando se logra determinar la distancia entre los dos objetos se les denomina sensores de alcance.

**Figura 18.** Sensor de Proximidad.



**Fuente:** Sensor de Proximidad [en línea]. [Consultado el 12 de Marzo de 2016]. Disponible en internet: <http://www.monografias.com/trabajos67/tecnologia-control/tecnologia-control2.shtml>



**Sensores de visión:** Estos son capaces de visualizar el volumen de trabajo e interpretar los datos que reciben de las imágenes. Estos robots son utilizados en tareas de inspección reconocimiento de piezas y otras.

**Figura 19.** Sensor de Visión Artificial.



**Fuente:** Sensor de Visión [en línea]. [Consultado el 12 de Marzo de 2016]. Disponible en internet: <http://www.directindustry.es/prod/banner-engineering-corp/product-7106-391894.html>

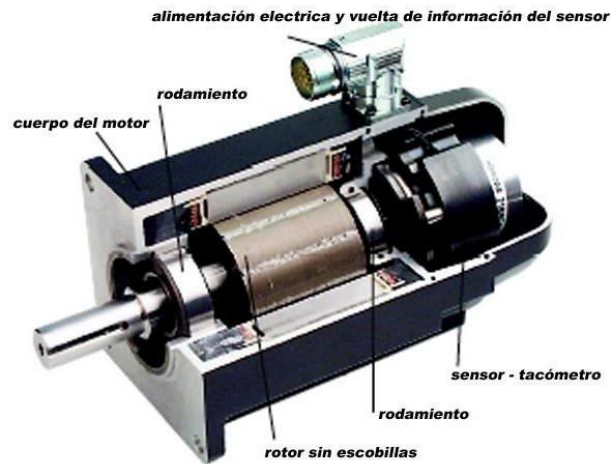
## 1.9 SERVOMOTOR

Los servomotores son dispositivos electromecánicos constituidos fundamentalmente por tres elementos: amplificador electrónico, motor eléctrico y sensor de posición. El sensor de posición se encarga de medir el desplazamiento articular (lineal o rotacional) y el amplificador electrónico o servo amplificador que se encarga de acondicionar al motor la impedancia y la señal de voltaje de baja potencia proveniente de una computadora o un sistema mínimo digital. Los servomotores cuentan con tres modos de operación: posición, velocidad y par. El modo posición puede mover el motor a un punto o posición preestablecida llamado set Point. Este modo no permite desplazar cargas o aplicar una fuerza determinada, dándose así el frecuente uso de reguladores como el proporcional derivativo (PD) o el integral proporcional derivativo (PID). En el modo velocidad se controla el movimiento del motor a una velocidad deseada, pero al igual que en el modo posición, no se puede ejercer fuerza, son llamados entonces, modos de arquitectura cerrada, debido a que no pueden programar otro tipo de controladores, lo cual restringe su uso en el campo de la robótica.

El modo par es el más empleado en robótica, considerado de arquitectura abierta, lo que permite evaluar experimentalmente las estrategias de control, interactuar directamente con el sistema mecánico del robot, permitiendo así evaluar los efectos dinámicos del robot y por consiguiente; controlar posición, fuerza y desplazamiento articular. El termino servomecanismo se utiliza cuando

un servomotor es acondicionado mecánicamente a un péndulo o eslabón, es decir; el servomotor y el sistema mecánico acoplado.

**Figura 20.** Servomotor.

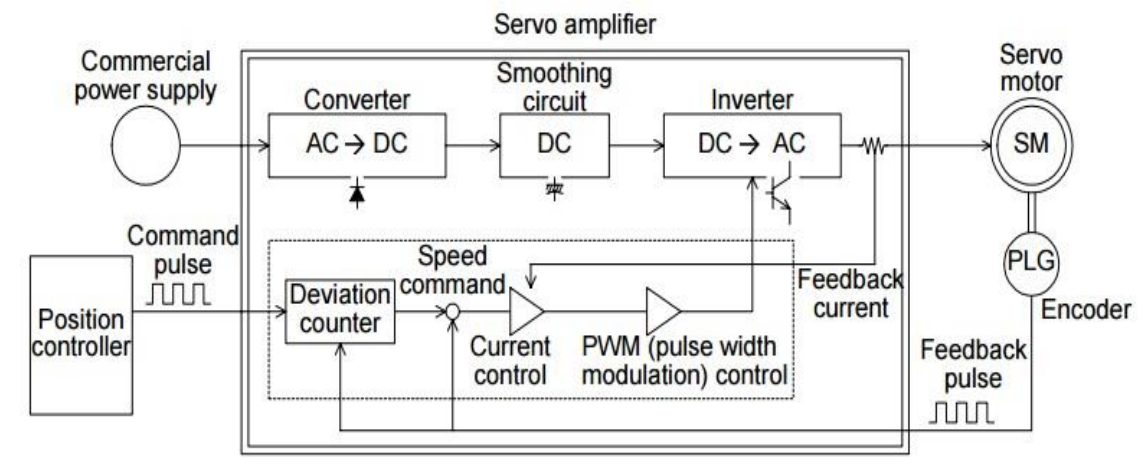


**Fuente:** Servomotor [en línea]. [Consultado el 12 Marzo de 2016]. Disponible en internet: <http://www.castor.es/servomotor.html>

**1.9.1 Control de Posición del Servomotor.** El control de posición ampliamente utilizado en las industrias funciona así; Un detector de rotación (codificador o encoder) está montado en el motor y alimenta la posición de rotación / velocidad del eje del motor de vuelta al Drive. El controlador calcula el error de la señal de impulso o de tensión analógica (posición de comando de comando / velocidad) del controlador y la señal de realimentación (posición actual / velocidad) y controla la rotación del motor de manera que el error se hace cero. El método de control de bucle cerrado se consigue con un controlador, el motor y codificador, por lo que el motor puede llevar a cabo operaciones de posicionamiento de alta precisión.

La figura 21 complementa la información del párrafo anterior, en este caso este diagrama representa en bloques funcionales al Servo Drive. El bloque referente al controlador de posición no es más que la señal proveniente de un PLC u otro controlador que genere pulsos a determinadas frecuencias. Esa regulación es la que entra al inversor, cuyo conjunto se divide en dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le suele llamar ondulator.

**Figura 21.** Estructura de un Servo Drive.

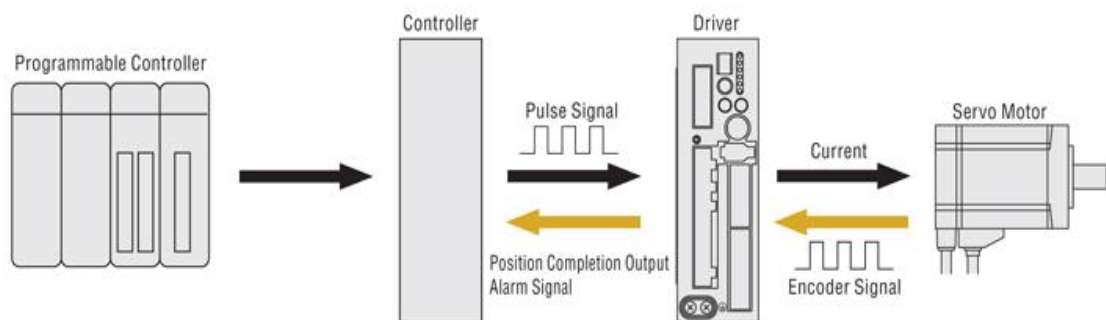


Fuente: Servo Amplificador [en línea]. [Consultado el 12 de Marzo de 2016]. Disponible en internet: [http://www.meah.com.hk/Uploads/Product/201103/201103211648208593\\_jy992d89901a.pdf](http://www.meah.com.hk/Uploads/Product/201103/201103211648208593_jy992d89901a.pdf)

El conjunto final se ilustra en la figura 22, donde se representan los componentes necesarios para llevar a cabo el control de movimiento.

El controlador introduce la señal de pulso. La velocidad y la posición de parada son entonces controladas de acuerdo con el número de impulsos.

**Figura 22.** Componentes De un Control de Posición.



**Fuente:** Oriental Motor, Control de Posición [en línea] 2016. [Consultado el 13 de Marzo de 2016]. Disponible en internet: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/servo-motor-features.html>

Para seleccionar el servomotor apropiado es necesario considerar los siguientes datos:

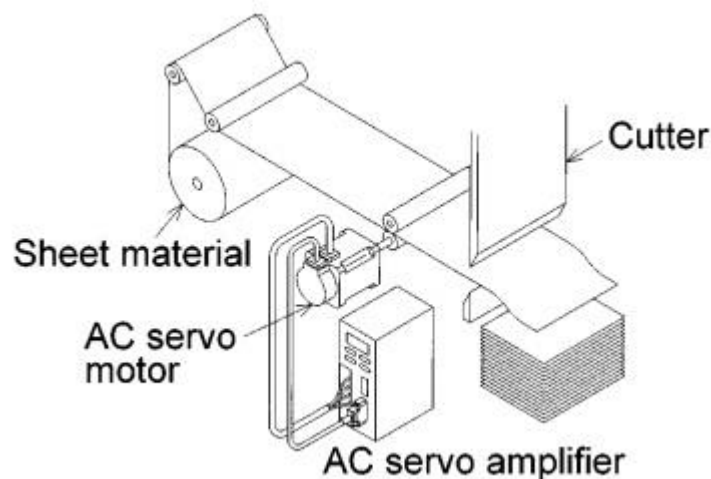
- Potencia
- Velocidad
- Inercia de la carga
- Torque requerido
- Requerimientos de frenado
- Tamaño - Tipo de encoder

Referente al tipo de encoder, el más común es el de tipo incremental, existiendo la alternativa de absoluto.

**1.9.2 Aplicaciones del Control de Movimiento en la Industria.** Con la información técnica descrita en el anterior subcapítulo, se ilustraran algunos tipos de usos del control de posición en la industria.

La figura 23, ilustra un control típico en la industria del sector de papel o plásticos. El control de posición optimiza el proceso tanto en velocidad como en precisión, además teniendo la posibilidad de programar el drive para distintas medidas como en el caso de la figura.

**Figura 23.** Aplicación Control de Posición.



**Fuente:** Mitsubishi Electric. Cortadora Industrial [en línea]. [Consultado el 14 de Marzo de 2016]. Disponible en internet:

[http://www.meah.com.hk/Uploads/Product/201103/201103211648208593\\_jy992d89901a.pdf](http://www.meah.com.hk/Uploads/Product/201103/201103211648208593_jy992d89901a.pdf)

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema robotizado que permita paletizar el embalaje de jugos en presentación de caja Tetra Pack de 200ml en la línea A3Speed, para la empresa Alpina Zona Franca del Cauca.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar el espacio de trabajo y la(s) tarea(s) a realizar para definir las trayectorias del embalaje.
- Realizar un estudio cinemático para definir la morfología del robot a utilizar.
- Realizar un estudio dinámico para definir los torques requeridos para realizar la trayectoria con carga en el efector. (esto permite definir la capacidad de los actuadores).
- Diseñar un efector final para levantar y mover el embalaje.
- Seleccionar un sistema de control.

### **3 DESCRIPCION DEL TRABAJO**

En este capítulo se detallará la situación real de la empresa, en cuanto al proceso de embalaje de la máquina A3 Speed se refiere. Cómo también se especificará el espacio de trabajo existente, esté ultimo junto con el estudio cinemático y dinámico definen la morfología adecuada a utilizar.

Lo que se busca en este diseño es una mayor flexibilidad operacional, y se entiende por flexibilidad lo que una empresa del sector industrial perseguí y es; eficiencia, rentabilidad y excelencia. Dado lo anterior se entiende que entre más flexible sea una máquina, menos costosos y más variados pueden ser los productos.

#### **3.1 PROBLEMA**

La empresa Alpina Productos Alimenticios, cuenta con un proceso de estibado de jugos en caja, con un peso aproximado de 5.5 Kg, realizado de manera manual por personal operativo de la empresa. Las cajas salen de la máquina A3Speed y deben ser depositadas en estibas manualmente, por lo que resulta ser un desgaste físico para los operarios encargados de la paletización. Esto implica que se debe disponer de personal suficiente; distribuido en turnos para la ejecución del trabajo y así cumplir con los objetivos y compromisos finales de la producción de la empresa a tiempo.

La anterior operación llevada a cabo por un robot evitaría la intervención humana en la carga y las consecuencias de los movimientos corporales que realizan a diario los operarios, igualmente el robot evitaría y/o reduciría los cuellos de botellas en la banda por donde se desplazan las cajas, estos se producen cuando hay cambio de estiba y uno de los dos operarios tiene que realizarlo, sobrecargando la labor a una sola persona, otra causa es cuando se presentan relevos (casino, baño, etc.) al personal de línea por otro que no tiene la misma agilidad y práctica.

Los costos que se generan cuando ocurren desperdicios son importantes, como el reproceso generado cuando se llena la banda y es necesario ubicar el producto a un lado para no detener la máquina. Lo anterior tiene causas como: cuando se presentan cambios de estibas y no se cuenta con el personal suficiente que suministre o posicione, aumento velocidad de línea, tiempos de casino y relevos por personal con poca agilidad.

### 3.2 ESPACIO DE TRABAJO

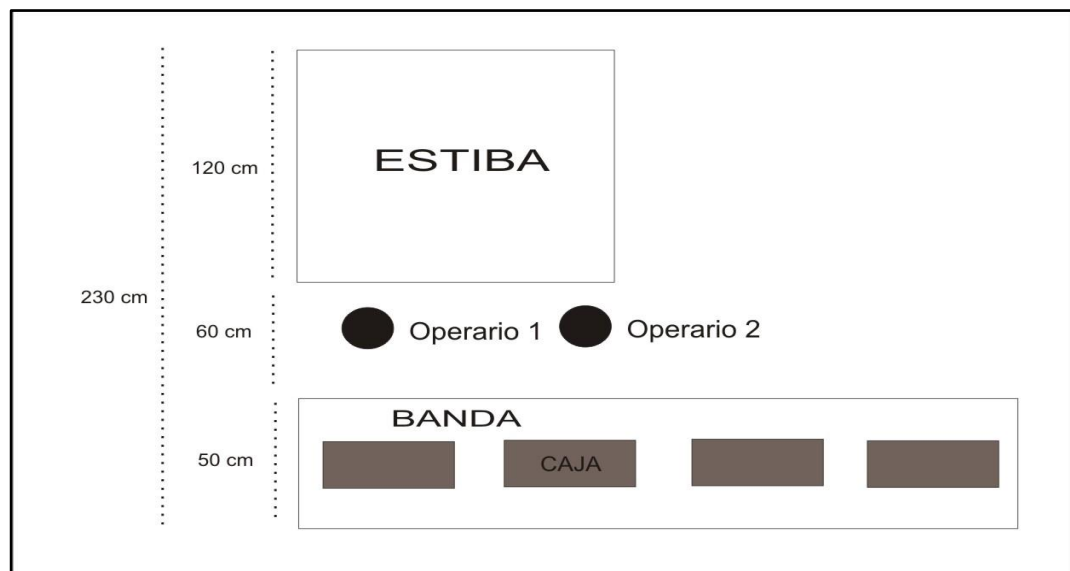
Para el desarrollo de esta etapa se toma como referencia las líneas de demarcación industrial existentes en la maquina A3 SPEED de la planta Alpina Cauca (ver diagrama en Anexo A).

Analizado lo anteriormente citado en el diagrama, se definen las restricciones y límites de trabajo del robot. Esto con el objetivo de conocer el paso de montacargas o senderos peatonales como se puede observar en el diagrama del Anexo A.

El estudio de este espacio se hace específicamente para la investigación que se presenta en este documento, no es universal a otro tipo de espacios. El volumen de trabajo del manipulador lo determina la configuración del robot.

La figura 24, ilustra y complementa la información citada en el párrafo anterior. En esta figura se observa como está distribuido el espacio de trabajo con sus respectivas medidas. Para el posicionamiento del Robot, se toma como referencia la banda, de acuerdo a la figura el espacio libre es después de la banda y como limitante 50 centímetros de recorrido.

**Figura 24.** Distribución del Paletizado en Alpina



### 3.3 PRODUCTO

La empresa Alpina Cauca ubicada en la planta de Caloto, fabrica toda la línea de refrescos. Dentro de los cuales se encuentra Fruper (figura 25) en presentación de caja Tetra Pack de 200 ml. Éste producto es empackado por la máquina A3 Speed cuya característica principal es el envasado de productos asépticos.

**Figura 25.** Fruper Producto de Embalaje



**Fuente:** Alpina Productos Alimenticios, Refresco Fruper Fresa 200ml. [en línea]. [Consultado el 25 de Noviembre]. Disponible en internet: [http://jorgemariouribe.com/tienda/index.php?route=product/product&product\\_id=1213](http://jorgemariouribe.com/tienda/index.php?route=product/product&product_id=1213)

### 3.4 ENVASADORA Y ENCARTONADORA

**Envasadora:** El envasado del producto (jugo) es realizado por la máquina A3 Speed (figura 26). Proporciona el rendimiento de producción de envases más alto de la industria, ya que cuenta con suministro automático de materiales de envasado sin detener la máquina.

Esta máquina ofrece el menor costo operativo posible, puesto que cuenta con un panel operativo táctil e intuitivo. Las fallas y su solución son indicadas en la pantalla para una fácil intervención.

Por ultimo brinda una alta inocuidad alimentaria (exclusivo proceso aséptico presentado por la Administración de Alimentos y Medicamentos [FDA].



**Figura 26.** Envasadora Tetra Pak A3 Speed



**Fuente:** Tetra Pak, Envasadora A3 Speed, [en línea]. [Consultado el 20 de Diciembre de 2015]. Disponible en internet: <http://www.tetrapak.com/mx/packaging/tetra-pak-a3speed>

**Encartonadora A3 Speed:** Es la máquina (ver figura 27) que se encarga de formar cajas de cartón. Este proceso se realiza aplicando pegante y una fuerza neumática a las solapas. Cada paso se hace secuencialmente y en caso de falla, la maquina dispone de sensores que detienen el proceso.

**Figura 27.** Encartonadora Tetra Pak A3 Speed



**Fuente:** Tetra Pak, Encartonadora A3 Speed [en línea]. [Consultado el 20 de Diciembre de 2015]. Disponible en internet: <http://productxplorer.tetrapak.com/es-xl/equipment/tetra-pakr-encartonadora-30-speed-0400>

El proceso de encartonado en la maquina consta de 3 pasos:

- Agrupación del producto en separadores de 9 filas. El producto se desplaza por una banda a baja frecuencia. Esto con el objetivo de que sensores dejen pasar las 27 unidades.
- La máquina desplaza el cartón el cual se encuentra en un almacén que alimentan los operarios. Este proceso es sincronizado por medio de sensores en la máquina y durante el desplazamiento del producto.
- Cuando el cartón está situado sobre la base del producto, otra banda transportadora desplaza el producto por guías que doblan las solapas y paralelamente válvulas dosificadoras de pegante, aplican la cantidad necesaria para formar la caja.

La figura 28 ilustra el producto final ya encartonado y listo para ser estibado por personal de la empresa.

**Figura 28.** Producto Final Encartonado

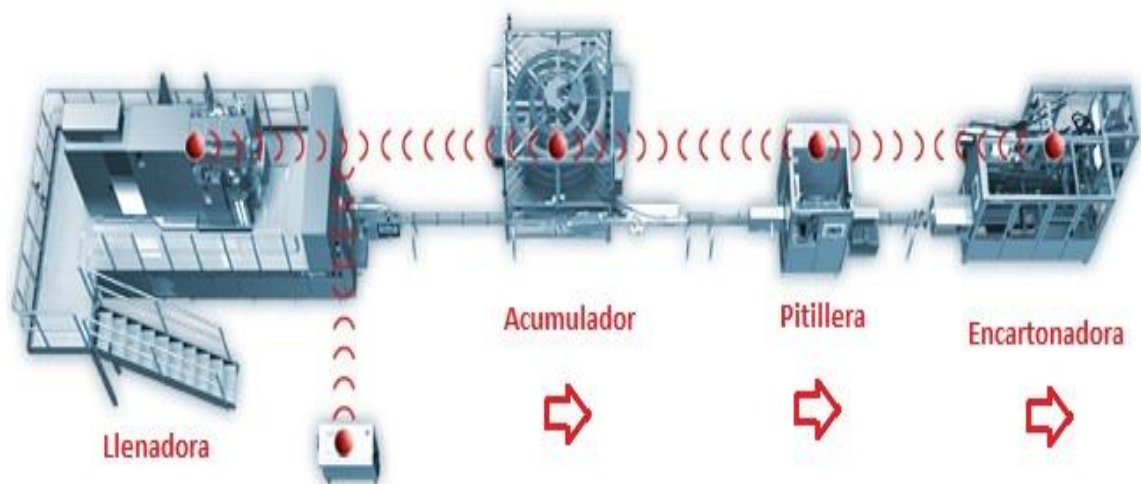


La caja contiene 27 unidades de producto con un peso aproximado de 5.5 Kg. Las medidas de la caja son: 15.5 cm de Ancho – 15 cm de Alto – 37 cm de Profundidad. El material es cartón de contextura lisa, suministrado por la empresa Smurfit Kappa Cartón de Colombia S.A.

**3.4.1 Velocidad de Línea Salida Encartonadora.** La Encartonadora y las demás máquinas de la línea se sincronizan de acuerdo a la velocidad de la llenadora, también conocido como plataforma iLine. (Ver figura 29).

Cuando la llenadora se encuentra al 90% de la velocidad final, se obtienen 13 cajas por minuto. Es decir, que una caja sale de la máquina cada 4.6 segundos. Luego se desplaza por una banda transportadora de 3 metros a 15 Hz.

**Figura 29.** Plataforma iLine



**Fuente:** Tetra Pak, Plataforma iLine [en línea]. [Consultado el 20 de Diciembre de 2015], disponible en internet: <http://www.tetrapak.com/mx/packaging/tetra-pak-a3speed>

El modelo de plataforma iLine, permite que si ocurre una falla en cualquiera de los equipos de distribución (Pitillera y Encartonadora) instantáneamente la velocidad de la máquina de llenado disminuya. Esto permite que el personal técnico y operativo disponga de un tiempo para la solución de la falla, este tiempo está limitado por el acumulador. Éste determina la parada final de la llenadora una vez se encuentre con su capacidad de almacenamiento al tope.

### 3.5 PROCESO DE TRABAJO

El producto sale empacado en una caja de dimensiones (15.5 Ancho x 37 largo x 15 Altura) cm. Ésta contiene 27 unidades de Jugo en presentación de caja Tetra Pak de 200mL. Después de encartonado, es decir el proceso anteriormente mencionado. Se desplaza por una banda transportadora de aproximadamente 3 Mt. Donde se realiza el proceso de codificación y finalmente de entrega.

El operario levanta la caja y la desplaza aproximadamente 130 cm de su posición de trabajo hasta la estiba (ver figura 30).

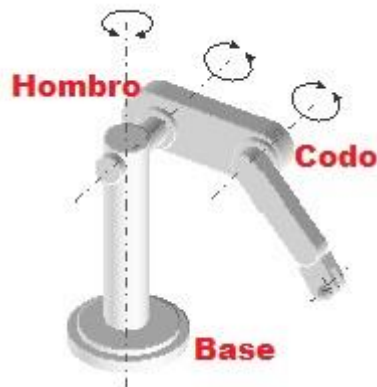
**Figura 30.** Proceso de Paletizado



## 4. ESTUDIO CINEMATICO

De acuerdo a la información del Marco Teórico Capítulo 1, se realizará el estudio cinemático para la morfología Antropomórfica, por la analogía del brazo humano. (Ver figura 31).

**Figura 31.** Morfología de Diseño



Fuente: Programa Quantus Robótica, Estructura de Robots Industriales [en línea]. [Consultado el 20 Marzo de 2016]. Disponible en internet: <http://blocs.xtec.cat/quantumrobotics/>

El manipulador de la figura 31 es una ilustración general de los robots antropomórficos. Por lo que se detallará las articulaciones que se deben tener en cuenta para el análisis directo que se realizara en el siguiente capítulo. La base es la primera articulación y es el soporte de todo el sistema. El hombro constituye el segundo eslabón del sistema y por último la tercera articulación corresponde al codo.

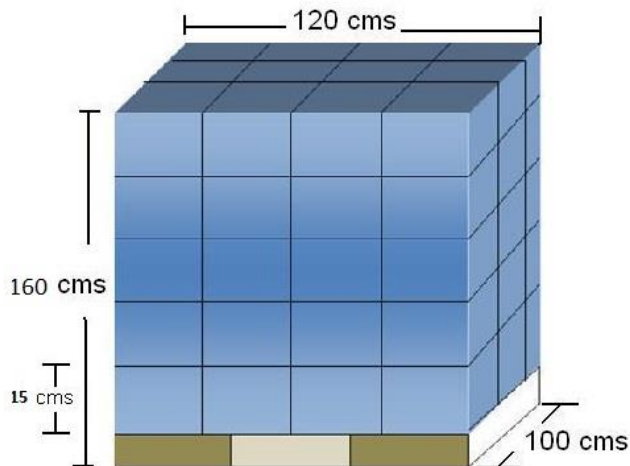
### 4.1 ANALISIS DE LA CINEMATICA DIRECTA

Con base a la información investigada, al trabajar con coordenadas cartesianas, la solución del problema cinemático directo, estará en función de las articulaciones. Se determinaran las características del espacio de trabajo existente en la planta de Alpina, para seleccionar el robot paletizador que se adapte al área de trabajo. Es decir, que los eslabones del modelo seleccionado lleguen a los espacios más críticos.

**4.1.1 Definición De La Longitud De Los Eslabones.** La longitud de los eslabones la define el espacio de trabajo, restricciones y condiciones del sistema actual. Para ello se tiene en cuenta las medidas de la estiba con y sin producto. El robot debe alcanzar perfectamente los puntos extremos tanto superiores como inferiores del pallet.

De acuerdo a las medidas de la figura 24 el manipulador antropomórfico (“ver figura 31”) se posicionaría en el espacio de 60 centímetros, donde los operarios realizan el proceso de embalaje manual. En la figura 32 se ilustran las medidas reales de acuerdo al embalaje de la estiba con producto. En la planta de Alpina Zona Franca del Cauca, cuentan con un solo formato de embalaje, por lo que un cambio o ajuste del formato (adicionar más producto = Cambio de medidas) requiere un nuevo análisis y es considerado una restricción para el diseño.

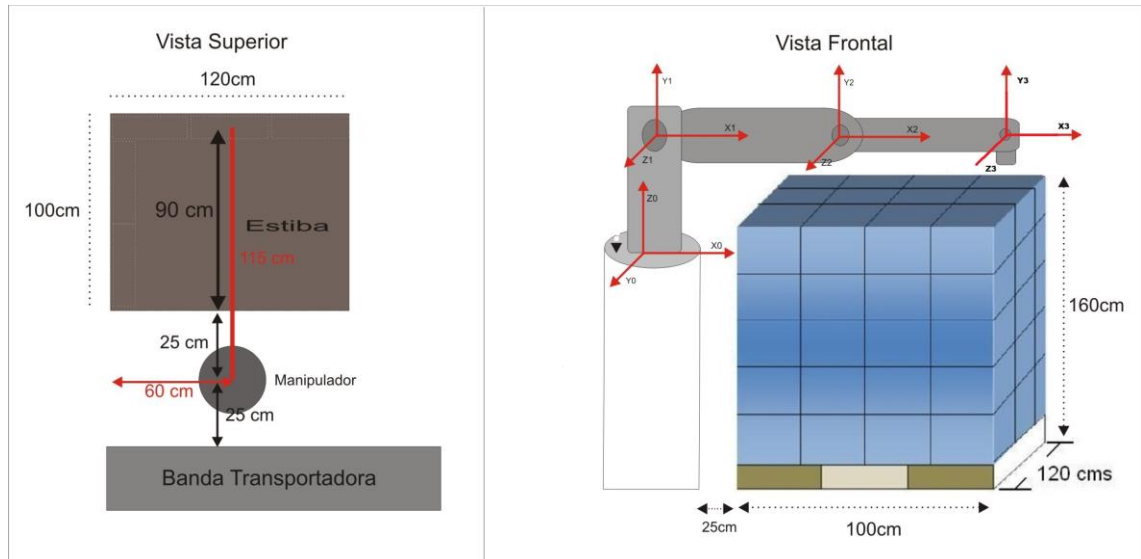
**Figura 32.** Dimensiones De la Estiba con Producto



Dada las dimensiones de la estiba con el producto, se procede a plantear las medidas de acuerdo a las trayectorias de embalaje.

La figura 33 ilustra el planteamiento con la morfología a utilizar y la cantidad de Grados de libertad que debe tener el robot, como también se especifica el área de trabajo y de posicionamiento del robot.

**Figura 33. Propuesta de Diseño**



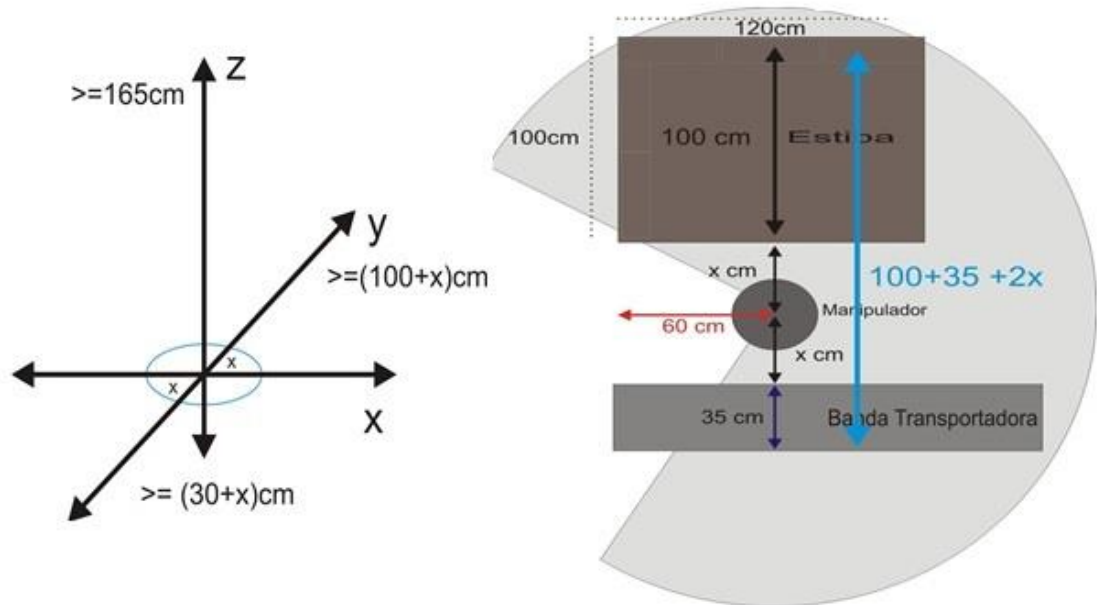
El sistema propuesto debe tener 4 articulaciones, la base, codo, hombro y la muñeca, todo esto de acuerdo a la analogía con el brazo humano que se planteó en el marco teórico.

**4.1.2 Espacio de Trabajo Requerido.** Hace referencia a las medidas que se tienen actualmente. En la figura 34 se ilustra el área de trabajo que debe cubrir el robot, tanto de altura “eje z” como el recorrido sobre el eje y.

La rotación de su base como mínimo debe ser entre  $140^\circ$  y  $-100^\circ$ . El manipulador se posicionará justo donde los operarios trabajan, ese espacio es de 60 centímetros, por lo que en el momento de la selección del manipulador se debe considerar esa distancia y ser sumada a las medidas de estiba y banda transportadora. Lo anterior dado que si el manipulador se sitúa muy cerca tanto de la banda como de la estiba, las articulaciones no podrán situarse lo suficiente para depositar la caja donde se requiere, debido a que los grados de libertad tienen un ángulo limitante como máximo tope.



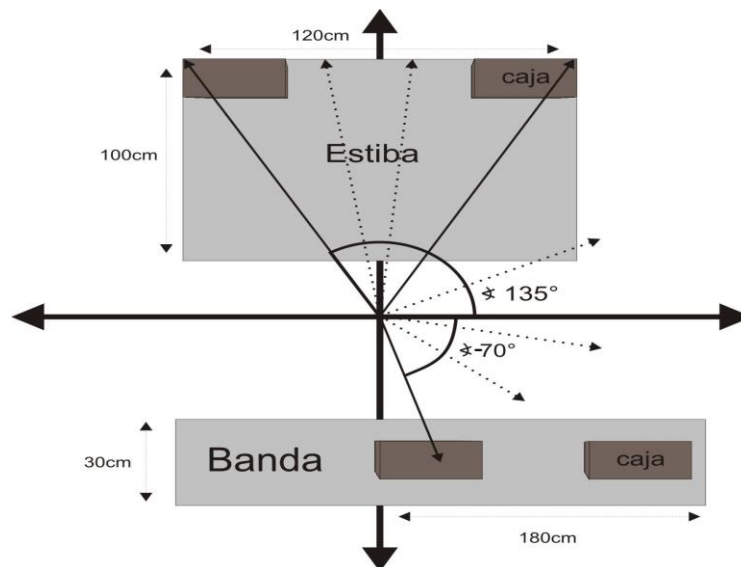
**Figura 34.** Espacio de Trabajo



## 4.2 ANALISIS DE LA CINEMATICA INVERSA

Como se detalló en el marco teórico se busca encontrar las coordenadas articulares haciendo uso de la geometría y partiendo de una configuración base. Se toman las medidas en el sitio de trabajo de la planta de Alpina, donde se trazan los ejes en el suelo y con un transportador industrial se hacen medidas de los ángulos de acuerdo a las trayectorias y los puntos límites de recorrido. La figura 35 ilustra la información anterior.

**Figura 35.** Referencias Polares de la Trayectoria.

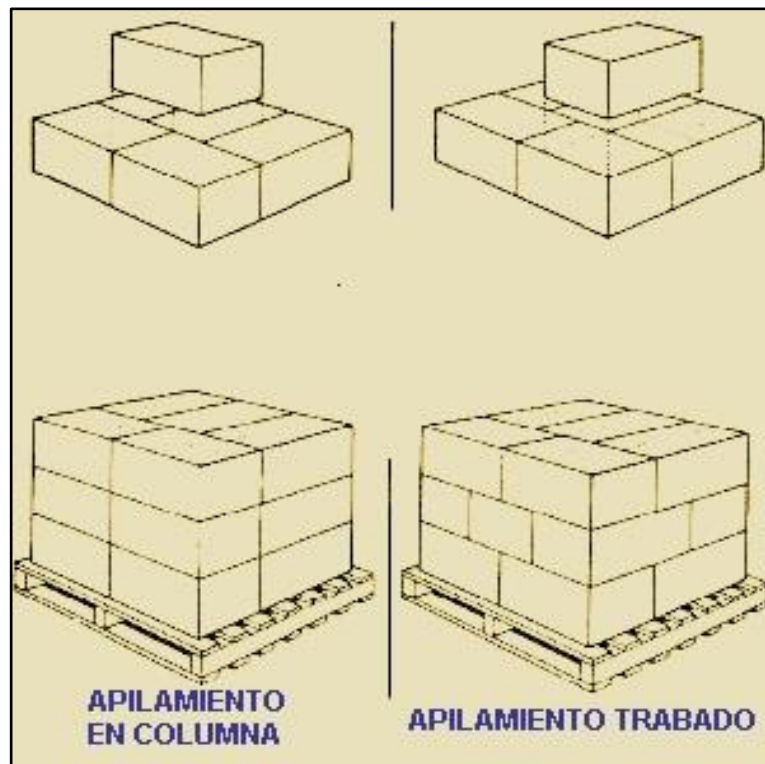




**4.2.1 Embalaje.** El proceso de embalaje consiste en apilar las cajas de tal manera que la estiba tenga una buena estabilidad a la hora de ser transportada por gatos hidráulicos o montacargas.

La figura 36 ilustra un proceso de apilamiento de las cajas sobre la estiba. Este proceso es de vital importancia para hacerle saber al robot como deben ir agrupadas las cajas. Lo anterior se logra con un algoritmo de programación, el cual distribuye el movimiento de los motores y del efector final, esto para darle a conocer cómo y en donde debe descargar el objeto en este caso la caja con el producto.

**Figura 36.** Proceso de Embalaje



**Fuente:** Andrés Mojica, Proceso Automático de Estibado [en línea]. [Consultado 2 de Enero de 2016]. Disponible en internet: <http://es.slideshare.net/mojikandres/proceso-automatico-de-estibado-7293733>

## **5. ESTUDIO DINÁMICO**

Al realizar una tarea con el manipulador, este debe desplazarse desde una posición inicial hasta una posición final. La etapa de generación de trayectorias consiste, en especificar las localizaciones espaciales (puntos iniciales y finales), instantes de pasos, los tipos de trayectorias. Todo lo anterior visto en el estudio cinemático.

Con el estudio dinámico en este apartado, se busca encontrar que el sistema pueda llegar a tiempo, desde una posición inicial a una posición final. Como también que las articulaciones tengan el torque necesario para soportar el peso del producto.

### **5.1 ANALISIS DE REFENCIA DE VELOCIDAD vs TRAYECTORIA**

La caja o producto se desplaza por una banda transportadora de 3 metros de longitud, en donde también se realiza el proceso de codificación. Esta banda tiene una velocidad final de 15 Hz estables, proporcionados por la acción de control de un variador de velocidad a un motor de 1 Hp.

Lo que se requiere con este análisis es identificar cual es el tiempo que tarda en recoger la caja y posicionarla. Para eso se toma como referencia los puntos críticos o límites de la estiba. La figura 35 ilustra las posiciones de la caja sobre el plano, en éste último se tomaran las referencias de velocidad en grados / Tiempo. Es decir cuánto tiempo tarda la base del manipulador es trasladarse a recoger la caja “-70°” hasta posicionarla sobre la estiba “135°”. Para un total en recorrido de ida y vuelta de 210° aproximadamente.

Por lo tanto se tiene que de la maquina salen:

- 14 Cajas por minuto, 1 cada 4.2 segundos.
- Se desplaza por una banda transportadora a 15 Hz.

La base del manipulador debe desplazarse 210° en 4 segundos como máximo, con esto se garantiza que recoge y deja el producto sobre la estiba.

## 6. SELECCIÓN DEL MANIPULADOR

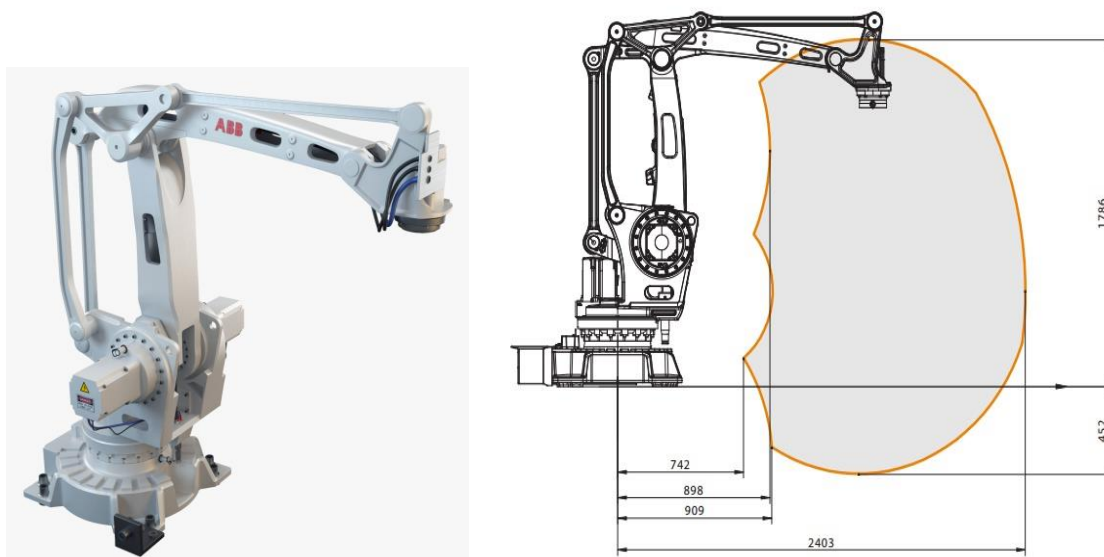
Teniendo en cuenta las notaciones del espacio de trabajo, de acuerdo al análisis de condiciones cinemáticas, como también al análisis dinámico para la velocidad y tiempo de respuesta del manipulador. Existen múltiples Robots en el mercado que cumplen con las características planteadas en el proyecto. Y que la elección está basada de acuerdo a la necesidad específica de la empresa, teniendo efectos secundarios como ahorro en dinero al no seleccionar un manipulador sobredimensionado para una tarea.

### 6.1 ROBOTS PALETIZADORES

En el mercado hay marcas líderes en procesos de paletizado, entre las marcas más conocidas están:

- **ABB.** Esta marca dispone de los robots de la serie IRB. Compactos y ligeros para trabajos de paletizado. El robot de la figura 37 posee 4 grados de libertad y puede alcanzar hasta 2190 ciclos por hora.

**Figura 37.** Robot Paletizador ABB - IRB 460



**Fuente:** ABB, Robot Paletizador [en línea]. [Consultado el 10 de Mayo de 2016]. Disponible en internet: [https://library.e.abb.com/public/95c9da16ac8a4d92c1257838002bf7ef/ROB0206EN\\_A\\_IRB%20460%20data%20sheet.pdf](https://library.e.abb.com/public/95c9da16ac8a4d92c1257838002bf7ef/ROB0206EN_A_IRB%20460%20data%20sheet.pdf)

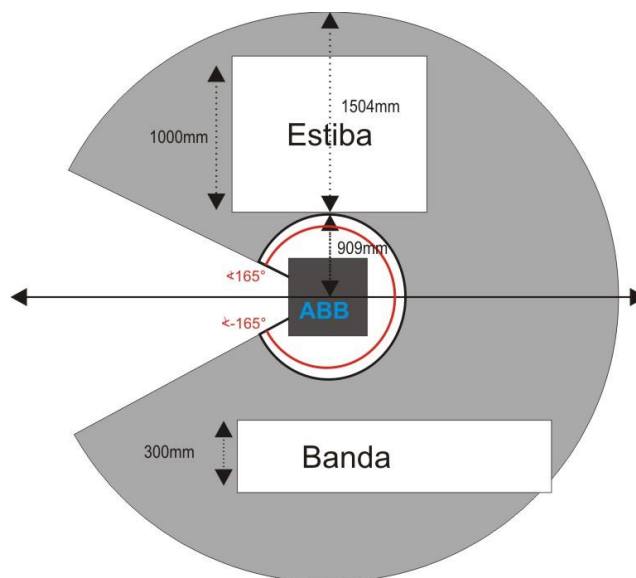
En el Anexo D se especifican los detalles técnicos del manipulador de la marca ABB. En cuanto a las condiciones de espacio de trabajo y las necesidades de la empresa Alpina, éste manipulador se adapta al espacio tanto en altura como ancho, la figura 38 ilustra las medidas de la hoja de datos con las medidas del espacio de trabajo horizontal de la estiba y banda transportadora.

De acuerdo a los datos de la imagen la base gira de  $165^{\circ}$  a  $-165^{\circ}$ , con una velocidad de  $145^{\circ}$  / segundo con la carga máxima de 110 kg, estas características cinemáticas y dinámicas se adaptan y cumplen con las condiciones para el espacio de trabajo realizado. Ver tabla 2 para más detalles.

**Tabla 2.** Características Técnicas Robot ABB vs Requeridas

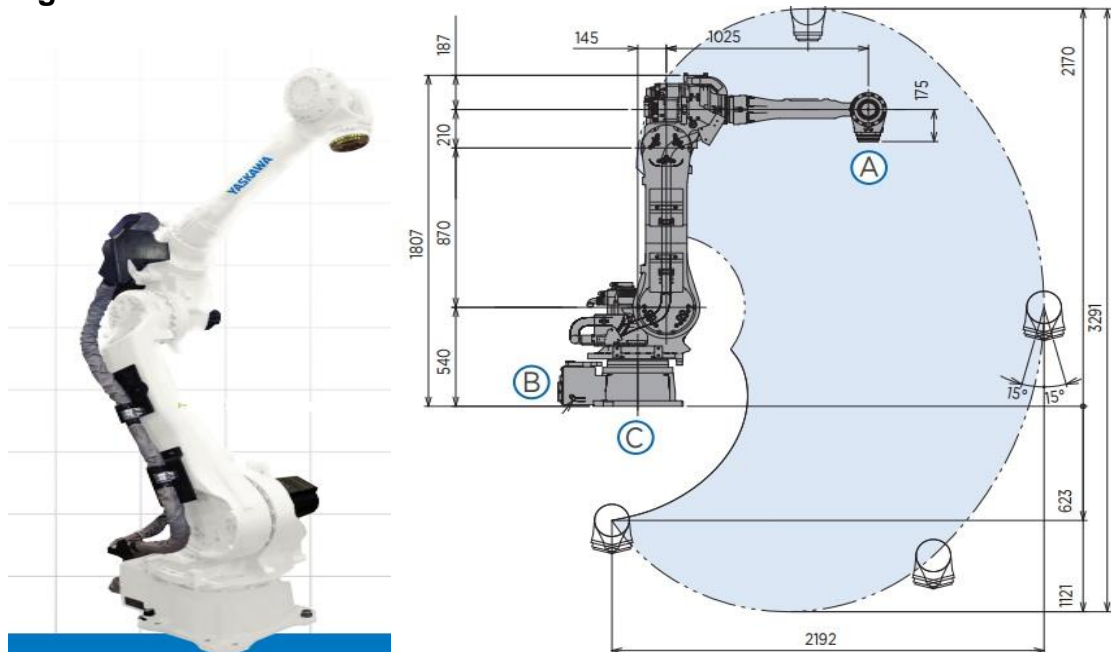
Característica	Requerido	Robot IRB 460
Desplazamiento de la base	$145^{\circ}$ ; $-70^{\circ}$	$165^{\circ}$ to $-165^{\circ}$
Velocidad desplazamiento base	$210^{\circ}$ / 3 segundos.	$145^{\circ}$ / segundos.
Capacidad del efector para levantar una masa	5.5 kg	110kg
Dimensión de la base del Robot	60 – 70 cm máx.	71 cm

**Figura 38.** Área de Trabajo Robot Paletizador IRB 460 ABB



- **YASKAWA.** Motoman ofrece una amplia gama de robots diseñados específicamente para aplicaciones de formación de capas, paletizado / despaletizado. Se escoge la referencia MPL80 II, (ver figura 39) de acuerdo a las condiciones analizadas.

**Figura 39.** Robot Paletizador MPL80II



**Fuente:** YASKAWA, Motoman [en línea]. [Consultado el 13 de Mayo de 2016]. Disponible en internet: [http://www.motoman.com/datasheets/MPL80II\\_DX200\\_MLX200.pdf](http://www.motoman.com/datasheets/MPL80II_DX200_MLX200.pdf)

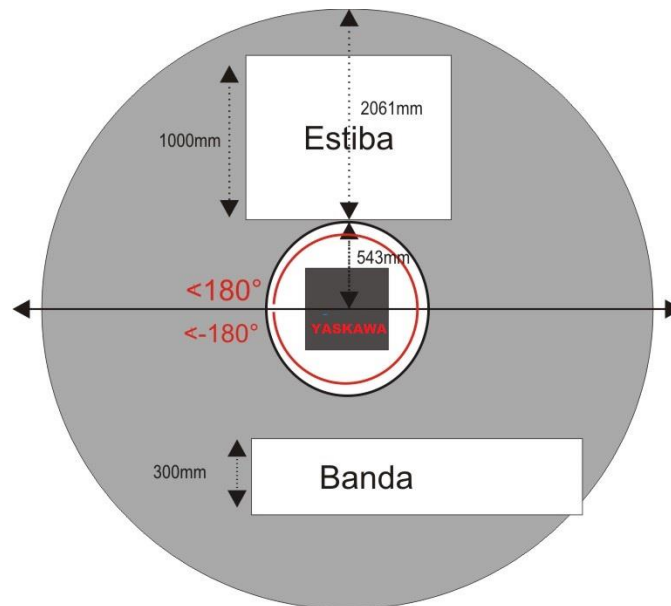
En el Anexo E se especifican los detalles técnicos del manipulador de la marca Yaskawa. Éste manipulador posee un rango más amplio tanto en las características de espacio de trabajo como en velocidad de respuesta. Al igual que el anterior se adapta al espacio tanto en altura como ancho, la figura 40 ilustra las medidas de la hoja de datos con las medidas del espacio de trabajo horizontal de la estiba y banda transportadora.

**Tabla 3. Características Técnicas Robot Yaskawa vs Requeridas.**

Característica	Requerido	Robot IRB 460
↔ Desplazamiento de la base	145° ; -70°	180° to -180°
Velocidad desplazamiento base	210° / 3 segundos.	170° / segundos.
Capacidad del efector para levantar una masa	5.5 kg	80 kg
Dimensión de la base del Robot	60 – 70 cm máx.	42 cm

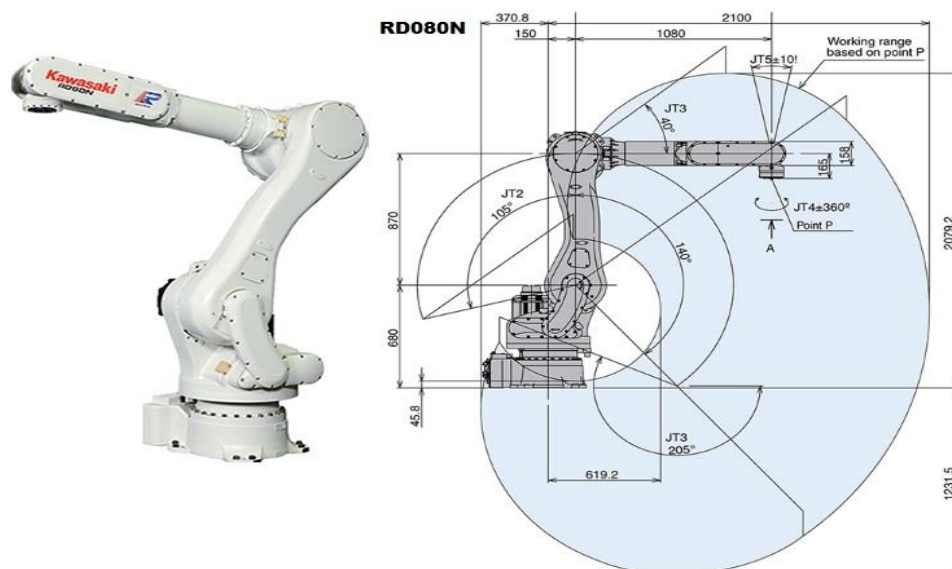
La tabla 3 representa las características relevantes del Robot paletizador, a diferencia del IRB460 este paletizador alcanza 210° / 1,2 segundos. Por lo que permite un rango más amplio y abierto a cambios de velocidad en la máquina.

**Figura 40.** Área de Trabajo Robot Paletizador MPL80II YASKAWA



- **KAWASAKI.** Líderes y desarrolladores de Robots paletizadores para la industria. De esta marca se selecciona la referencia RD080N, la cual se ajusta a las condiciones de trabajo y de espacio para paletizar. La figura 41 ilustra la morfología del robot y su área de trabajo. En el Anexo F se detalla las características del robot.

**Figura 41.** Robot Paletizador Kawasaki RD080N



**Fuente:** kawasaki, Robot Paletizador [en línea]. [Consultado el 13 de Mayo de 2016]. Disponible en internet: <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/palletizing/RD080N/>

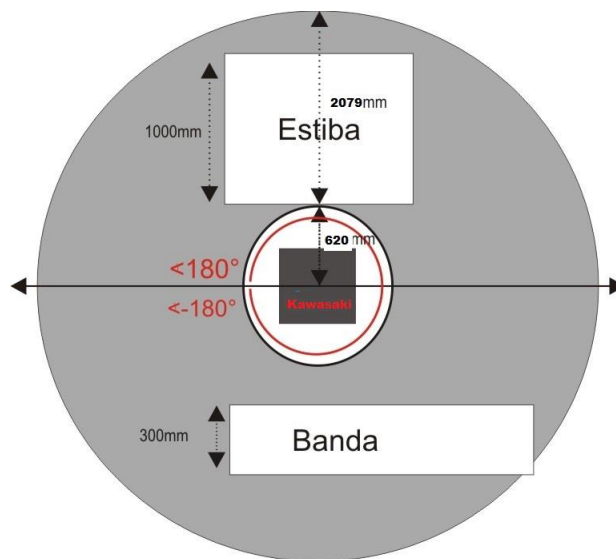
De los datos de la tabla 4 se puede concluir que el robot seleccionado se ajusta a las condiciones requeridas en la planta de Alpina.

**Tabla 4. Características Técnicas Robot Kawasaki vs Requeridas**

Característica	Requerido	Robot IRB 460
↗ Desplazamiento de la base	145° ; -70°	180° to -180°
Velocidad desplazamiento base	210° / 2 segundos.	180° / segundos.
Capacidad del efector para levantar una masa	5.5 kg	80 kg
Dimensión de la base del Robot	60 – 70 cm máx.	51 cm

Ubicando la estiba y la banda transportadora sobre el área de trabajo del robot paletizador de Kawasaki, se puede evidenciar que puede llegar a cubrir hasta dos estibas. Lo anterior se ve reflejado en tiempo ya que al retirar la estiba ya paletizada, hay tener disponible la otra estiba como máximo en 4 segundos que es el tiempo en cual hay una caja en la banda lista para ser sujeta.

**Figura 42. Área de Trabajo Robot Paletizador RD080N Kawasaki.**



## 6.2 ANALISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a la información planteada en las diferentes figuras como en las tablas, se tiene que para seleccionar el robot se deben considerar las siguientes condiciones.

- La base debe girar 210 ° como máximo en 2 segundos.
- Dado que el producto sale de la banda cada 4,2 segundos, el robot debe esperar el cambio de estiba una vez está se encuentre llena. Por lo que el operario debe realizar el cambio en 4 segundos.
- El punto anterior hizo q se realizaran pruebas en la planta de Alpina, dando como resultado que:  
El operario tiene que dejar el gato hidráulico para estibas justo debajo de esta. Al terminar el paletizado, se obtuvo que el tiempo para sacar la estiba del punto demarcado fuera de 3 segundos.  
Otro operario sostiene y alista la estiba para ser posicionada justo cuando sale la otra, el tiempo que se tomó para esta tarea fue de 3.5 segundos aproximadamente.
- El resultado de la operación anterior, hace que una caja con producto logre pasar sin ser sujeta.
- Dado lo anterior y pensando en una alarma que se active cuando permita realizar el cambio de estiba, se deja que una o dos cajas pasen del punto de recogida y que se localicen al fondo de la banda transportadora.

Dado lo anterior el robot paletizador que se ajusta a las condiciones y a posibles mejoras ya que su espacio de trabajo permitiría tener hasta dos estibas, logrando así que no hallan acumulaciones por fallas en la retirada de la estiba es El Kawasaki RD080N de la figura 38. El tamaño de carga de este paletizador también permitiría sujetar dos (2) cajas al mismo tiempo con esto se reduce el tiempo de estibado a la mitad, para lograr esa operación el efector final debe garantizar el peso de 11Kg.



## **7. DISEÑO EFECTOR FINAL**

La tarea final del robot paletizador es sujetar la caja de la banda transportadora y desplazarla hasta la estiba de acuerdo al proceso de embalaje visto en la figura 36, donde las cajas se tienen que acomodar de tal forma que brinde una mejor estabilidad a la estiba cuando tenga que ser transportada. Para acomodar las cajas de tal forma, el robot debe tener otro grado de libertad para un total de cuatro. Este último debe ser rotacional para permitir girar la caja cuando se requiera.

Utilizando los fundamentos de la información investigada en el marco teórico acerca del diseño del efector final y de acuerdo a las consideraciones que se tienen para el diseño o elección del mejor sistema, se concluye que las condiciones dependen del tamaño, material y peso del objeto. La figura 28 ilustra la caja u objeto al cual se debe sujetar y desplazar de la banda transportadora hasta la estiba. El peso neto de la caja con el producto es de 5.5Kg.

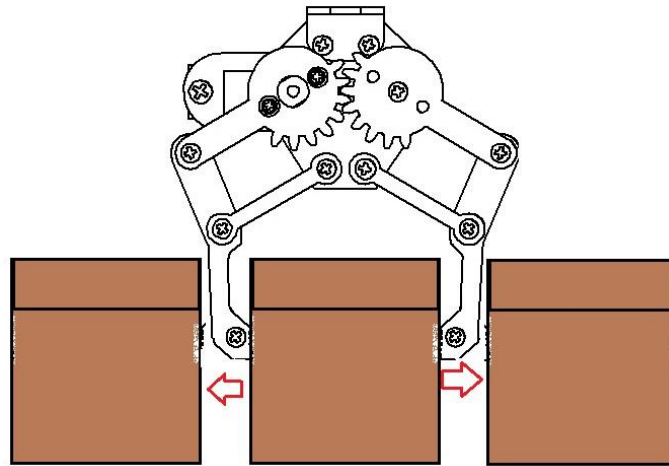
### **7.1 SELECCIÓN DE LA CONFIGURACION**

Se escogen 2 de los 3 Gripper referenciados en el apartado del marco teórico, se descarta el Gripper electro neumático puesto el material a sujetar es cartón. Aplican principalmente para metales. De acuerdo a pruebas realizadas en la planta de Alpina se obtuvieron los siguientes resultados con los dos Gripper seleccionados:

- Gripper Mecánicos: (ver figura 4). Esta configuración hace que las cajas se desplacen, a causa del grosor de la pinza. Estas pruebas se realizan en la planta adaptando un Gripper “pinzas” suministrado por un proveedor externo a un puente grúa. (Ver figura 43).

La configuración aunque muy usada no es la conveniente para el proceso que se realiza y que se requiere con el manipulador.

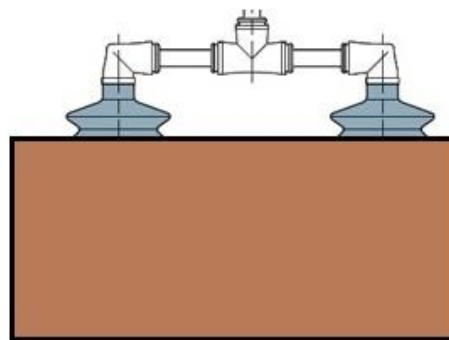
**Figura 43.** Pruebas con Gripper Mecánico.



- Gripper de Vacío: este efector puede sujetar al producto por encima de la caja sin interferir en el posicionamiento de las demás.

La anterior afirmación es válida y suficiente para las condiciones del sistema. Puesto que las ventosas no requieren un posicionamiento preciso sobre la caja, además son de fácil mantenimiento y reemplazo de las mismas. La figura 44 ilustra la posición de recogida del Gripper sobre el producto o caja.

**Figura 44.** Gripper Para Vacío.



## 7.2 CÁLCULOS

**7.2.1 Selección de la Ventosa.** Se hace uso del manual de especificaciones de Festo, para seleccionar el material adecuado de la ventosa de acuerdo a las propiedades del producto que en este caso es cartón liso.

Se selecciona y se hacen pruebas en la planta de Alpina, con la ventosa Simple y con rosca de fijación de la figura 45.

El material adecuado de la ventosa es NBR (Caucho nitrilico), es usado para transferencia de piezas en general como: Cartón, madera, placa de acero entre otros.

**Figura 45.** Ventosa Para el Diseño



**Fuente:** Festo, Ventosas [en línea]. [Consultado el 20 Marzo de 2016]. Disponible en internet: [https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/data/doc-es/PDF/ES/VAS\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc-es/PDF/ES/VAS_ES.PDF)

**7.2.2 Fuerza de Levantamiento.** Antes de calcular el diámetro de la ventosa es necesario hallar la fuerza de levantamiento. Para ello se hace uso de las ecuaciones vistas en el marco teórico.

El caso del robot es el siguiente, debe levantar verticalmente el objeto el cual se encuentra en posición horizontal. De acuerdo a la información en Condiciones del sistema se tiene lo siguiente:

Se hace uso de la ecuación (8) de acuerdo a la información anterior:

$$F_L = m(g + a).S$$

**Tabla 5.** Condiciones Iniciales del Sistema

Descripción	Valor
Masa de la caja	5.5kg
Constante de Gravedad	$9.81 \frac{m}{s^2}$
Factor de seguridad	2
Velocidad del Robot	2 m/s
Distancia a Recorrer	1.75 m
Aceleración $a = \frac{v^2}{d}$	$2.3 \frac{m}{s^2}$

Reemplazando valores en la ecuación 8 se tiene que la fuerza necesaria para el levantamiento es:

$$F_L = m(g + a). S = 133.2 \text{ N}$$

**7.2.3 Cálculo del diámetro de la Ventosa.** El diámetro de la ventosa se determina basándose en la fuerza de levantamiento vertical y la caja en posición horizontal.

$$F_A = \frac{F_{Lmax}}{n}$$

**$n$  = Numero de Ventosas**

**$F_{Lmax} = 133.2 \text{ N}$**

**$Diametro Ventosa = \emptyset$**

Con 1 Ventosa  $n=1$

**$F_A = 133.2 \text{ N}$   $\emptyset = 75 \text{ mm}$**

Con 2 Ventosas  $n=2$

**$F_A = 66.6 \text{ N}$   $\emptyset = 55 \text{ mm}$**

Con 3 Ventosas  $n=3$

**$F_A = 44.4 \text{ N}$   $\emptyset = 40 \text{ mm}$**

Con 4 Ventosas  $n=4$

**$F_A = 33.3 \text{ N}$   $\emptyset = 30 \text{ mm}$**

**7.2.4 Cálculo Presión de Vacío.** Con los datos de los diámetros de la (s) ventosas, se requiere hallar la Presión de vacío en la línea del sistema. La Tabla de la Pagina 9 en el Anexo C contiene el dato el cual es general.

$$P = -0.7[bar]$$

**7.2.5 Consideraciones del Sistema de Vacío.** Para la aplicación en un sistema, por sugerencia del Fabricante “Festo”, la longitud de la tubería debe ser lo más corta posible.

- La longitud de la tubería y ducto en el lado del vacío debe ser corto y tan recto como sea posible.  $L=0.5$  Metros.
- Las curvaturas de la tubería crean resistencia, caídas de presión y retrasos de tiempo. La curvatura poder ser hasta  $> 120^\circ$ .
- Evitar usar uniones o acoples lo menos posible.
- Diámetro Interno  $\varnothing = 4mm$ .

En general, un generador de vacío debe ponerse lo más cerca de la ventosa para aumentar o disminuir el tiempo de respuesta, guardar energía y reducir perdidas por fuga.

**7.2.6 Selección Venturi.** De acuerdo a los datos anteriores se realizan pruebas en la planta de Alpina con el representante de la marca Festo, la tobera de aspiración o Venturi que se adaptó de acuerdo al diámetro de la ventosa es la Referencia VN-05-M13, los detalles técnicos se especifican en el Anexo B.

**Figura 46.** Venturi para el Diseño



**Fuente:** Festo, Toberas de Aspiración [en línea]. [Consultado el 24 Marzo de 2016]. Disponible en internet: [https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/data/doc\\_es/PDF/ES/VAS\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/VAS_ES.PDF)

Se determina el uso de este sistema para este proyecto, por las características mencionadas al inicio en el marco teórico. Con este sistema se hace un ahorro energético, puesto que se utiliza solo en el momento que se requiera. Al contrario de las bombas de vacío rotativas que deben girar continuamente, las válvulas de vacío Venturi pueden funcionar en modo discontinuo y sólo en los momentos en los que las ventosas necesitan vacío.

### 7.3 SELECCIÓN DE LA CONFIGURACION DEL SISTEMA

De acuerdo a los datos calculados y experimentados, se selecciona el sistema descentralizado como el de la figura 11.

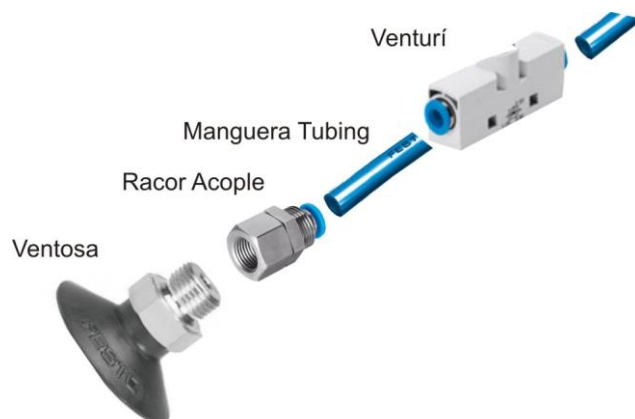
La razón es que con el sistema centralizado, una sola tobera o válvula Venturi tenía que ejercer la fuerza de succión (ver figura 10), lo que hizo se tuviera que cambiar el diámetro a uno más grande. Otra experiencia que se logro fue: si la caja presenta un pequeño movimiento la ventosa tendía a tratar de soltarse dejando escapar vacío.

Las conclusiones que se obtuvieron con las pruebas al realizar un montaje descentralizado fueron las siguientes:

Si se presenta turbulencia, el sistema no se ve afectado, puesto que la tobera se instaló lo más cerca posible de la ventosa.

Si una válvula Venturi presentaba falla el sistema continuaba sujetado por las 3 ventosas restantes. La figura 47 representa el conjunto de los elementos utilizados, de acuerdo al sistema descentralizado de la figura 34 se utilizan 4 grupos como el de la figura.

**Figura 47.** Elementos del sistema



## 8. SELECCIÓN SISTEMA DE CONTROL

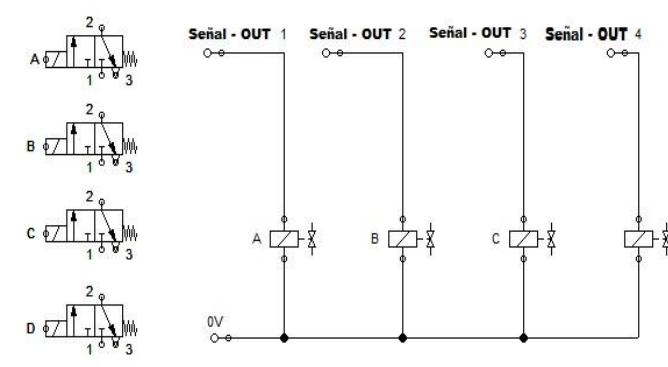
El robot paletizador es comandado por un controlador de Referencia E32 (ver Anexo G). El ingeniero debe programar la secuencia de acuerdo a un algoritmo ya reprogramado para los robots paletizadores. Se debe seleccionar el área de trabajo, límites de operación y cantidad de producto a ser estibado.

La elección del sistema de control para un robot es una decisión crucial en el funcionamiento de éste y el éxito que el robot pueda alcanzar en una determinada tarea, dependerá básicamente de la eficiencia y eficacia que tenga el controlador.

### 8.1 CONTROL DEL GRIPPER

El sistema de succión descentralizado y diseñado para sujetar la caja, posee 4 electroválvulas 3/2 Vías Referencia MFH-3-1/8 – Festo (ver figura 48), las cuales se activan en el momento que se desee sujetar o liberar.

**Figura 48.** Electroválvulas para Efecto Final



**Fuente:** Festo, Electroválvulas Símbolo 3/2 [en línea]. [Consultado el 24 Marzo de 2016]. Disponible en internet: [https://www.festo.com/cat/es\\_es/products\\_MF](https://www.festo.com/cat/es_es/products_MF)

El controlador E32 del robot Kawasaki dispone de un módulo de 32 I/O para ser utilizadas para propósitos generales y adicionales al sistema. Por tal razón no es necesario utilizar otro Controlador PLC, lo que es un ahorro significativo.

El control de las electroválvulas se plantea como ON/OFF, puesto que solo se requiere que sujete cuando el brazo y la última articulación se encuentren

sobre la banda transportadora. De igual forma cuando se desplace hasta la estiba o pallet desactivara para soltar la caja.

La señal que activará las electroválvulas, corresponderá a un sensor que estará ubicado en la banda transportadora y que enviara la señal o Trigger de presencia de caja.

Cuando el robot este posicionado en la caja se envía la orden para activar las salidas. Y permitir que el Venturi realice su tarea. El siguiente pseudocódigo describe la operación:

```
Posicionar manipulador;  
inicio  
Si sensor_caja Entonces  
bajar gripper;  
activar vacío;  
mover_manipulador;  
subir gripper  
Si end_move_manipulador Entonces  
bajar gripper;  
desactivar vacío;  
subir gripper;  
mover_posición inicial;  
Si no Entonces;  
goto_inicio;  
Fin si
```

## **8.2 SELECCIÓN DE SENSORES**

Para el manipulador robótico de la empresa Alpina, se requiere hacer uso de sensores para detectar la presencia de caja sobre la banda transportadora, como también un sensor que indique la presencia de la estiba o pallet en el punto de embalaje.

De acuerdo a la información suministrada acerca de las características de los sensores en el marco teórico, se concluye que el tipo de sensor a utilizar es el de proximidad (ver figura 18).

Por costos y por el tipo de objeto a detectar el sensor de proximidad es el indicado.



## 9. CONCLUSIONES

Mediante el diseño y de acuerdo a las condiciones se hace elección de un sistema manipulador, de tipo robot paletizador. Para mejorar un sistema de empaque en la línea A3 Speed de la planta Alpina Zona Franca del Cauca.

El diseño flexible del robot permite su aplicación en diferentes tareas, lo que le permite a la empresa cambiar de formatos en la estiba, hasta con un margen de altura  $\leq 3$  metros, el ancho no es modificable puesto que las estibas ya están establecidas.

Si bien el robot paletizador es bastante confiable para el proceso de paletizado de cajas, se debe tener un stock de elementos de cambio como: Servo Motores, articulaciones y lo que corresponde a rodamientos, ejes etc. Lo anterior debido a que la empresa también cuenta con máquinas de alto grado de trabajo en el que los componentes no están libres de desgaste mecánico.

Se diseñó un efector final tipo ventosa ´por vacío para la tarea específica de transportar la caja con producto, se concluye que este sistema descentralizado es económico en cuanto a consumo de aire se refiere. Si la empresa Alpina requiere un cambio de formato que este dentro del margen de peso “5.5Kg” pero con un material distinto al cartón solo es necesario cambiar el tipo de material de la ventosa.

Este documento permite un acercamiento inicial al desarrollo de robots manipuladores, y acortar la curva de aprendizaje en cuanto a la construcción y componentes que lo conforman. Dado que conociendo las condiciones de un sistema se debe aplicar la cinemática y dinámica vista en el capítulo del marco teórico.

## **10. RECOMENDACIONES**

Se debe realizar una estructura con puertas que cubra todo el espacio de trabajo, esto con el fin de que en condiciones de operación un trabajador no se acerque al robot en movimiento. Los actos de manipular máquinas en movimiento son inseguros. Se propone entonces anclar las señales de parada de la máquina, con las puertas de acceso a la estructura planteada.

Es recomendable adaptar una cámara de visión artificial, utilizadas en la industria para la memorización de información. En este caso el robot paletizador cumple con el objetivo de organizar las cajas sobre la estiba. Tarea realizada por los operarios de manera manual, pero además de eso ellos inspeccionaban si la caja se encontraba o no codificada, como también si estaba mal pegada por la encartonadora.

El cuadro de fallas que llegue a presentar el robot es indispensable anclarlas al sistema iLine de la llenadora. Esto permitiría que se reduzca la velocidad de la máquina y que llené el acumulador Hélix, lo que da tiempo de resolver fallas como atascamientos o realizar un reset.

## BIBLIOGRAFÍA

ABDALÁ CASTILLO, Salomón y ÑECO CABERTA, Raúl. Caracterización de un Robot Manipulador Articulado. Trabajo de grado Maestría en ciencias de ingeniería mecatrónica. México D.F.: Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico, CENIDET, 2003. 217 p.

“Actuadores”, [En línea]. Jordi Gil Llorca, Block, [Consultado el 8 Diciembre de 2015]. Disponible en Internet: [http://www-pagines.fib.upc.es/~rob/protegit/treballs/Q2\\_03-04/rob\\_ia2/elem4.htm](http://www-pagines.fib.upc.es/~rob/protegit/treballs/Q2_03-04/rob_ia2/elem4.htm).

Ana María González: “Robótica y Aplicaciones”. [En línea]. [Consultado el 5 Diciembre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos10/robap/robap.shtml>

APARICIO GONZÁLEZ MARCELA, ORJUELA PARRA JOHANNA. Control Para Un Brazo Robot Colocado Sobre Una Plataforma Móvil “ÚRSULA”. Proyecto de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Carrera Ingeniería Electrónica. Bogotá. 2005, 132p.

BARRIENTOS, Antonio; PEÑIN, Luis Felipe y BALAGUER. Fundamentos de robótica. 2 ed. España: McGraw Hill, 2007. 624 p.

CAVAJAL, Jaime. Modelamiento y Diseño de Robots Industriales. Colombia. Unisalle, 2007, 390p.

Chep: “Paletas de Madera”. [En línea]. [Consultado el 1 Diciembre de 2015]. Disponible en Internet: [http://www.chep.com/pallets/wooden\\_pallets/](http://www.chep.com/pallets/wooden_pallets/).

“Formatos de Paletizado”, Ejemplo de Paletizado [En línea]. [Consultado el 30 Noviembre de 2015]. Disponible en Internet: [http://www.construmatica.com/construpedia/Formatos\\_de\\_Paletizado](http://www.construmatica.com/construpedia/Formatos_de_Paletizado).

JIMÉNEZ, Wilmar, RODRÍGUEZ, Hernán. Diseño Y Simulación De Un Robot Cartesiano Para La Clasificación Y Almacenamiento De Piezas De La Estación Cim, Proyecto de Grado. Universidad De La Salle. Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica. Bogotá. 2006, 184 p.

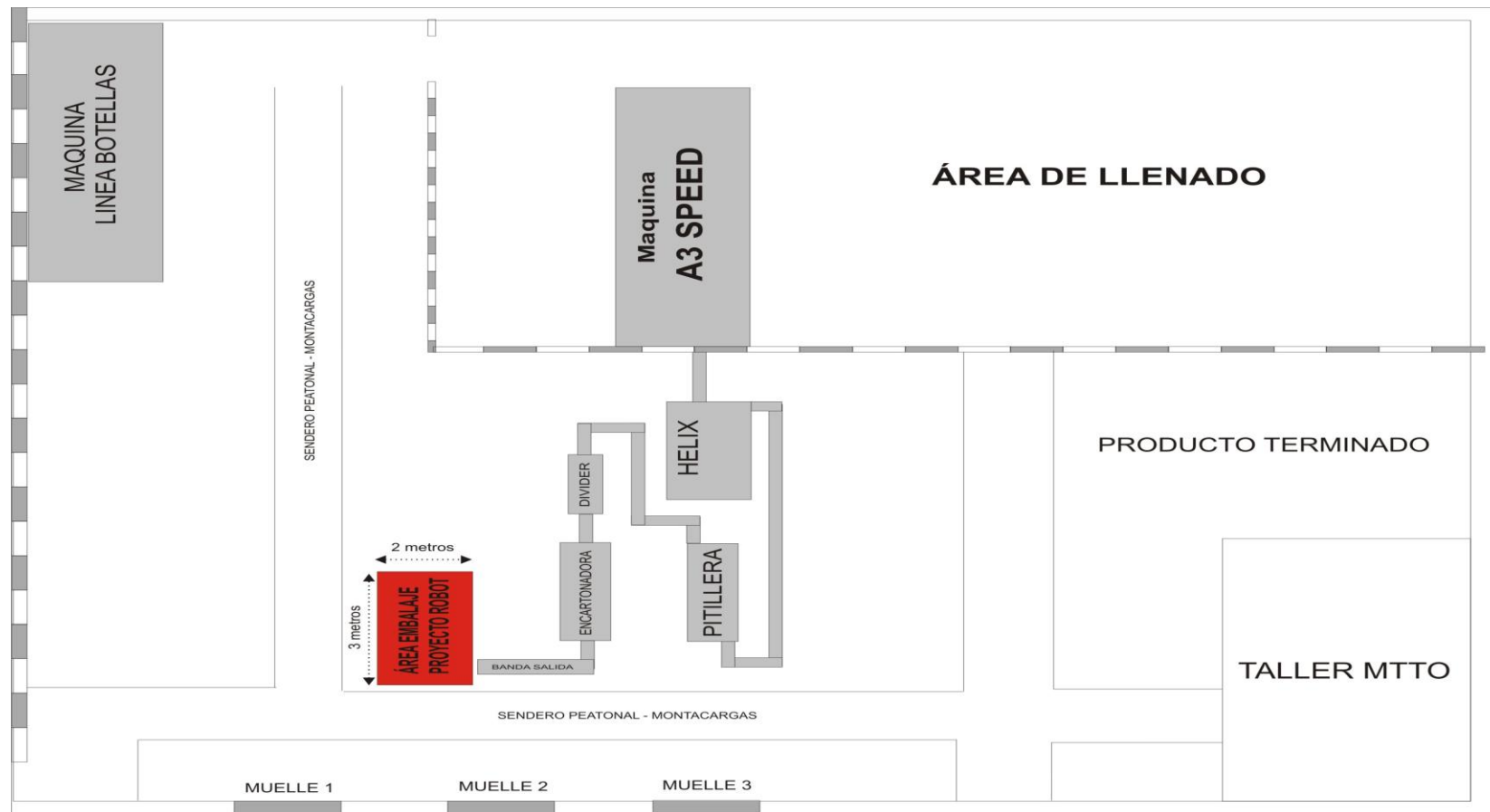
Medios de Transporte. [En línea]. [Consultado el 1 Diciembre de 2015]. Disponible en Internet: [http://www.chep.com/pallets/wooden\\_pallets/](http://www.chep.com/pallets/wooden_pallets/).

Mini- Robots: “Actuadores” [En línea]. [Consultado el 28 Noviembre de 2015].  
Disponible en Internet:  
<http://mn-rbts.blogspot.com/2010/09/actuadores.html>.

“Robots Paletizadores”. [En línea]. [Consultado el 5 Diciembre de 2015].  
Disponible en Internet: [http://www.co.all.biz/robots-paletizadores-g3389#.VSU2WtyG\\_HU](http://www.co.all.biz/robots-paletizadores-g3389#.VSU2WtyG_HU).

## ANEXOS

### Anexo A. Plano Planta Alpina Cauca.



## Anexo B. Hoja de Datos Generador de Vacío Venturi - Festo

Hoja de datos del Generador de Vacío Venturi de la marca **Festo**, conexión en línea con la ventosa de succión.

### Generadores de vacío VN, neumáticos



- Diámetro nominal 0,45 ... 3 mm
- Conexión
  - Enchufe QS4, QS6, QS8, QS10, QS12
  - Rosca M5, G1/8, G1/4, G3/8
  - Casquillo enchufable 4, 6 mm
- Estándar
  - Conexión de vacío en 90° en relación con la alimentación de aire
- Inline
  - Conexión de vacío en línea en relación con la alimentación de aire
- Válvula de impulso de expulsión neumática.

#### Características especiales:

- Generador de vacío compacto, para la generación descentralizada de vacío, sin necesidad de mantenimiento

VN

De las siguientes opciones se elige el diseño de forma recta, para el sistema descentralizado que estaría formado por 4 cuerpos tipo recto, totalmente independientes.

### Toberas de aspiración VN

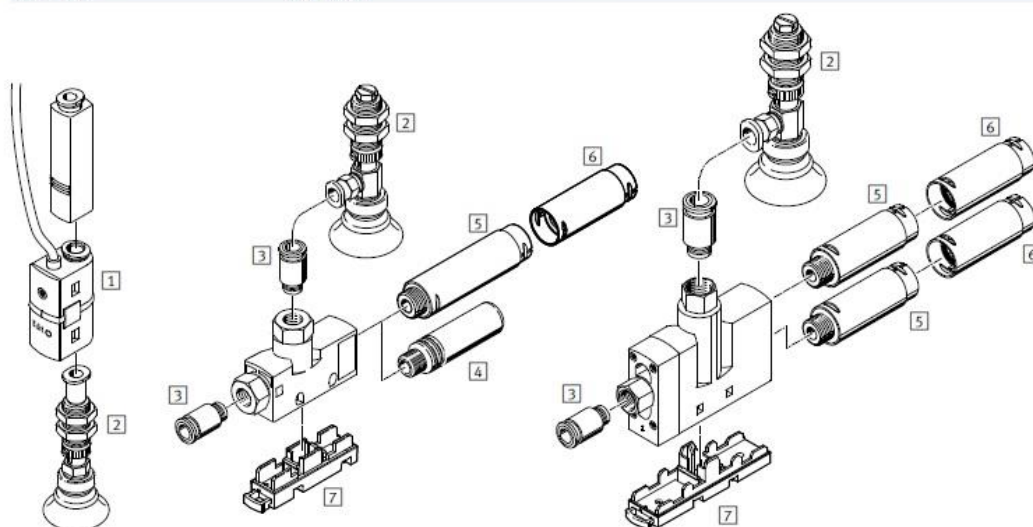
Cuadro general de periféricos

**FESTO**

VN-05/07/10/14  
Forma recta

En forma de T

VN-20/30



2015/07 – Reservado el derecho de modificación

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

11

Las toberas o válvulas Venturi de la serie VN se clasifican de acuerdo a la siguiente información de la página 5 de la hoja de datos - Toberas de aspiración Festo.

## Toberas de aspiración VN

Características

FESTO

### Cuadro general

- Toberas de aspiración para alto vacío de hasta 93%
- Toberas Laval de seis diámetros nominales:
  - 0,45 mm
  - 0,7 mm
  - 0,95 mm
  - 1,4 mm
  - 2,0 mm
  - 3,0 mm
- Toberas para grandes volúmenes de aspiración y tiempos de evacuación especialmente cortos
- Montaje en espacios reducidos
- Ejecución compacta y robusta
- Sin desgaste y sin necesidad de mantenimiento
- Sistema por módulos: Amplia gama de tipos
- Mayor eficiencia por utilización en la zona de trabajo
- Cuerpo de material sintético
- Diversas posibilidades de conexión:
  - Racor QS
  - Rosca para atornillar
  - Casquillo enchufable
  - Silenciador atornillable
- Montaje sencillo mediante enclavamiento en ambos lados y placa de montaje
- Sin o con vacuostato para controlar el vacío, con salida PNP

### Dos tipos de cuerpo

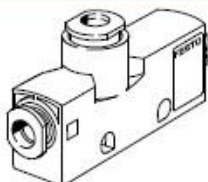
#### En forma de T

##### Conexiones:

- Racores QS
- Rosca interior
- Rosca exterior
- Silenciadores

##### Montaje:

- Montaje directo con tornillos
- Montaje indirecto mediante enclavado en la placa de fijación. Esta placa es apropiada para perfil H 35x7,5 según DIN NE 50 022.



#### Forma recta

##### Conexiones:

- Racores QS
- Casquillo enchufable

##### Montaje:

Cuerpo especialmente compacto con conexiones de aire comprimido y vacío en línea y sin recuperación del aire de escape. Por ello es posible efectuar el montaje directamente en el tubo flexible.



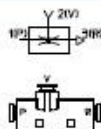
### Dos principios de funcionamiento

#### Estándar

- Cuerpo en forma de T

##### Ejecución:

Conexión de aire comprimido y conexión de vacío desfasados en 90°. El caudal se desvía en 90° desde V hacia R.

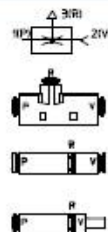


#### In line

- Cuerpo en forma de T
- Cuerpo recto sin conexión para aire de escape para montaje en espacios reducidos en tubos flexibles o directamente en el elemento de fijación de la ventosa

##### Ejecución:

Disposición en el conducto de las conexiones de aire comprimido y de vacío.



Las siguientes graficas detallan el comportamiento del vacío en función de la presión de línea, como también la respuesta a la desconexión para liberar el objeto de la ventosa.

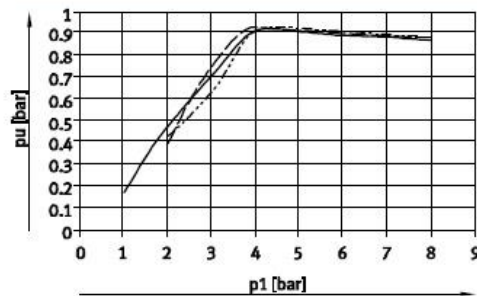
## Generadores de vacío VN-A/M/B con funciones adicionales

FESTO

Hoja de datos

Vacío  $p_u$  en función de la presión de funcionamiento  $p_1$

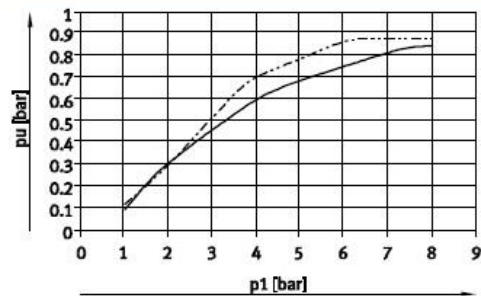
Alto vacío: estándar



— VN-05-H  
- - - VN-07-H  
- · - VN-10-H

2015/07 – Reservado el derecho de modificación

Gran caudal de aspiración: estándar



— VN-05-L  
- - - VN-10-L

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

37

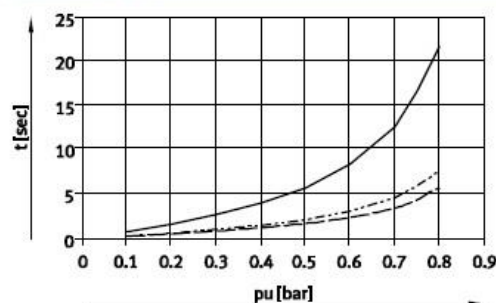
## Generadores de vacío VN-A/M/B con funciones adicionales

FESTO

Hoja de datos

Tiempo de evacuación  $t$  de un volumen de 1 l con presión de funcionamiento de 6 bar, en función del vacío  $p_u$

Alto vacío: estándar

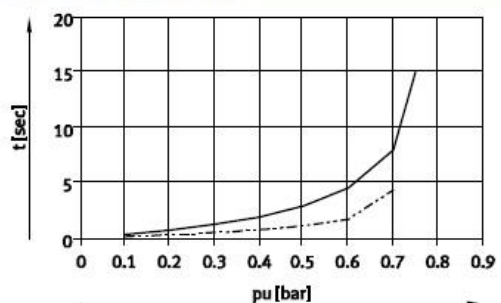


— VN-05-H  
- - - VN-07-H  
- · - VN-10-H

38

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

Gran caudal de aspiración: estándar



— VN-05-L  
- - - VN-07-L

Reservado el derecho de modificación – 2015/07



## Anexo C. Hoja de Datos Gripper Tipo Ventosa - Festo

**Festo** es el fabricante número 1 en soluciones neumáticas a nivel industrial, por lo que se hace uso de la información técnica de la siguiente ventosa para el diseño del efector final del manipulador robótico.

### Ventosas VAS/VASB

Características

**FESTO**

#### Resumen del producto

Las ventosas de sujeción por vacío de Festo convienen por su funcionamiento y por su calidad.

Una amplia oferta modular de ventosas con rosca de fijación con diferentes formas, materiales y tamaños, así como dentro de un

módulo de ventosa con rosca de fijación; una selección de diferentes soportes de ventosas con rosca de fijación, compensadores de ángulo y

de altura permiten al usuario una mayor selección de posibles combinaciones para las aplicaciones más diversas.

#### Ventosa de sujeción por vacío ESG

Producto modular con más de 2000 variantes

Hojas de datos → Internet: esg

• Soluciones apropiadas para el transporte de piezas de diversos pesos, superficies y formas

- Elección entre:
  - 15 diámetros de ventosas
  - 6 materiales diferentes (también antiestáticos)
  - 6 formas de ventosas
  - Numerosos soportes de ventosa con rosca de fijación
  - Accesorios opcionales (filtros para vacío y compensadores angulares)

- Gran variedad
- La solución apropiada para cada aplicación
- Aplicaciones prácticas versátiles para diferentes márgenes de temperatura y superficies de materiales.
- Las ventosas con rosca de fijación de silicona son aptas para el uso en la industria alimentaria

Ventosa de sujeción por vacío como solución completa

Ventosa de sujeción por vacío como componente individual



Ventosa de sujeción por vacío ESG

=



Soporte para ventosa con rosca de fijación ESH



Compensador angular ESWA (opcional)



Filtro para vacío ESF (opcional)



Ventosas con rosca de fijación ESS



Ventosa ESV (opcional)



## Características de las Ventosas, FESTO

### Ventosas VAS/VASB

FESTO

Características

#### Ventosas VAS/VASB

Robusta y de probada eficiencia

- Soluciones apropiadas para el transporte de piezas de diversos pesos, superficies y formas
- Elección entre:
  - 11 diámetros de ventosas
  - 2 formas de ventosas: redonda y de fuelle
  - 3 materiales: caucho nitrilo, poliuretano y silicona para el empleo en diferentes áreas de aplicación
- Aplicaciones prácticas versátiles para diferentes márgenes de temperatura y superficies de materiales.
- Las ventosas con rosca de fijación de silicona son aptas para el uso en la industria alimentaria
- Cada tamaño de conexión de tubos flexibles corresponde a un tamaño de elemento de fijación



2016/01 – Reservado el derecho de modificación

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

3

## Material de la ventosa y accesorios de fijación, pág. 4.

### Ventosas VAS/VASB

FESTO

Características

#### Ventosas con rosca de fijación

- VAS:  $\varnothing$  2 ... 125 mm
- VASB:  $\varnothing$  8 ... 125 mm
- Para piezas con superficies lisas y estancas
- Fuelle para adaptación a superficies irregulares, arqueadas e inclinadas
- **Caucho nitrílico (NBR)**
  - Utilización universal
- **Poliuretano (PUR)**
  - Gran duración
  - Tratamiento cuidadoso de las piezas gracias a la suavidad del material de las ventosas
- **Silicona (SI)**
  - Excelente resistencia térmica
  - Resistente a sustancias contenidas en los alimentos



#### Accesorios

##### Válvulas de retención de vacío ISV

- Mantenimiento del vacío aunque varias ventosas estén conectadas en paralelo
- Ahorro de aire comprimido y energía

Hojas de datos → Internet: [isv](http://www.festo.com/catalogue/...)



##### Compensación de altura VAL

- Manipulación cuidadosa de las piezas mediante compensación de diferencias de tolerancia del grosor de las piezas.

Hojas de datos → Internet: [val](http://www.festo.com/catalogue/...)



##### Racor LJK en L

- Desviación del aire comprimido
- Conexión giratoria en 360°

Hojas de datos → Internet: [ljk](http://www.festo.com/catalogue/...)



##### Adaptador AD

- Para conectar la ventosa por ejemplo a la rosca del vástago

Hojas de datos → Internet: [ad](http://www.festo.com/catalogue/...)



4

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)





Reservado el derecho de modificación – 2016/01

El cuadro de la Pág. 5 y 8 (Ventosas VAS/VASB – FESTO), provee la información necesaria y que se ajusta a las necesidades de material, diámetro, tipo de conexión y de ventosa (simple o con fuelle).

## Ventosas VAS/VASB

Cuadro general de productos

**FESTO**

Construcción	Ejecución	Tipo	Diámetro de la ventosa	Tipo de fijación	Conexión de vacío	Materiales de las ventosas	→ Página/Internet
Redonda, estándar	Conexión de vacío lateral						
		VAS	8	M5	PK-3	TPE-U (PU)	6
	Conexión de vacío arriba						
		VAS	2, 5, 8, 10, 15, 30, 40, 55, 75, 100, 125	M3, M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	M3, M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	NBR	8
Redonda, fuelle de 1,5		VASB	8, 10, 15, 30, 40, 55, 75, 100, 125	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	VMQ (silicona)	12
			8, 10, 15, 30, 40, 55, 75, 100, 125	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	PUR	12
			8, 10, 15, 30, 40, 55, 75, 100, 125	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	PUR	12
Redonda, fuelle de 1,5		VASB	8, 15, 30, 40, 55, 75, 100, 125	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	NBR	16
			8, 15, 30, 40, 55, 75, 100, 125	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	VMQ (silicona)	20
			8, 15, 30, 40, 55, 75, 100, 125	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	M5, G $\frac{1}{8}$ , G $\frac{1}{4}$ , G $\frac{3}{8}$	PUR	20

2016/01 – Reservado el derecho de modificación

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

5

## Ventosas VAS-...-NBR

Código del producto

**FESTO**

Tipo		VAS		30		$\frac{1}{8}$		NBR	
Ventosa									
Diámetro de la ventosa [mm]									
2	2								
5	5								
8	8								
10	10								
15	15								
30	30								
40	40								
55	55								
75	75								
100	100								
125	125								
Conexión de vacío									
M3	Rosca M3								
M5	Rosca M5								
$\frac{1}{8}$	Rosca G $\frac{1}{8}$								
$\frac{1}{4}$	Rosca G $\frac{1}{4}$								
$\frac{3}{8}$	Rosca G $\frac{3}{8}$								
Materiales									
NBR	Caucho nitrílico								

8

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

Reservado el derecho de modificación – 2016/01

Los siguientes datos de las páginas 9 y 10, proporcionan la información de la fuerza de sujeción de acuerdo al diámetro de la ventosa y al tipo de conexión de vacío.

## Ventosas VAS-...-NBR

Hoja de datos

FESTO

Función



- Ø • Diámetro  
2 ... 125 mm
- • Temperatura  
-20 ... +80 °C



Datos técnicos generales											
Diámetro de la ventosa [mm]	2	5	8	10	15	30	40	55	75	100	125
Conexión de vacío	M3	M5	M5	M5	G½	G½	G¾	G¾	G¾	G¾	G¾
Posición de la conexión	Arriba										
Diámetro nominal [mm]	1	1,5	2	2	3	3	4	4	4	4	7
Forma de la ventosa	Redonda, plana										
Tipo de fijación	Mediante conexión de vacío										
Posición de montaje	Indistinta										
Presión nominal de funcionamiento [bar]	-0,7										
Fuerza de sujeción con presión nominal -0,7 bar [N]	0,14	0,9	1,6	4,5	7,9	34	56	106	197	397	606
Diámetro de aspiración eficaz [mm]	1,6	4	5,5	8	12	25	32	44	60	85	105
Volumen de las ventosas [cm³]	0,03	0,03	0,095	0,12	0,328	1,29	3,47	8,01	18,3	33,5	79,1
Compensación de altura [mm]	0,5	0,5	0,9	1,1	1,2	1,9	3	3,5	3,5	3,5	6

2016/01 – Reservado el derecho de modificación

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

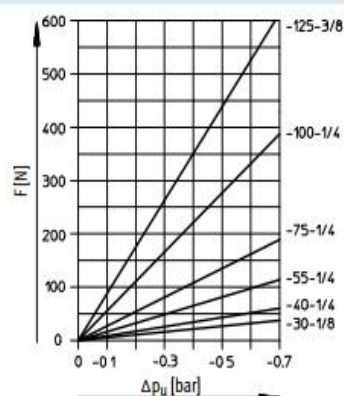
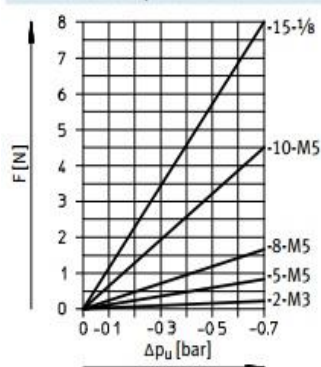
9

## Ventosas VAS-...-NBR

Hoja de datos

FESTO

Fuerza teórica de aspiración F en función del vacío  $p_u$



10

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

Reservado el derecho de modificación – 2016/01

Los siguientes datos de las páginas 17 y 18, especifican las mismas variables de la página anterior pero de una ventosa simple. La siguiente información es sobre las ventosas de Fuelle.

### Ventosas VASB-...-NBR, fuelle

Hoja de datos

Función

- Diámetro  
8 ... 125 mm
- Temperatura  
-20 ... +80 °C

Datos técnicos generales									
Diámetro de la ventosa	[mm]	8	15	30	40	55	75	100	125
Conexión de vacío		M5	G1/8	G1/8	G1/4	G1/4	G1/4	G1/4	G3/8
Posición de la conexión		Arriba							
Diámetro nominal	[mm]	2	3	3	4	4	4	4	7
Forma de la ventosa		Redonda, fuelle de 1,5							
Tipo de fijación		Mediante conexión de vacío							
Posición de montaje		Indistinta							
Presión nominal de funcionamiento	[bar]	-0,7							
Fuerza de sujeción con presión nominal -0,7 bar	[N]	1,6	7,9	34	56	106	197	397	606
Diámetro de aspiración eficaz	[mm]	5,5	12	25	32	44	60	85	105
Volumen de las ventosas	[cm³]	0,163	0,83	6,18	11,11	30,4	65,5	128	307
Compensación de altura	[mm]	3,3	5,6	13,9	13,7	20	15,5	15,5	25

### Ventosas VASB-...-NBR, fuelle

Hoja de datos

Fuerza teórica de aspiración F en función del vacío  $p_u$

18

→ Internet: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)

Reservado el derecho de modificación – 2016/01



## Anexo D. Hoja de Datos Robot Palletizer ABB - IRB 460

### IRB 460

#### Main applications

Palletizing, depalletizing, material handling

#### Specification

Handling capacity	110 kg
Reach	2.40 m
Number of axes	4
Protection	IP67
Mounting	Floor
IRC5 controller variants	Single cabinet
Integrated power signal supply	Optional
Integrated air supply	Optional

#### Physical

Dimensions robot base	1007 x 720 mm
Robot weight	925 kg

#### Performance (according to ISO 9283)

Position repeatability (RP)	0.20 mm
Path repeatability (RT)	0.11 mm

#### Movement

Axis movements	Working range	Maximum speed
Axis 1	+165° to -165°	145°/s
Axis 2	+85° to -40°	110°/s
Axis 3	+120° to -20°	120°/s
Axis 4*	+300° to -300°	400°/s

\* +150 rev. to -150 rev. max

#### Electrical connections

Supply voltage	200-600 V, 50-60 Hz
Power consumption	ISO cube 3.67 kW

#### Environment

##### Ambient temperature for mechanical unit:

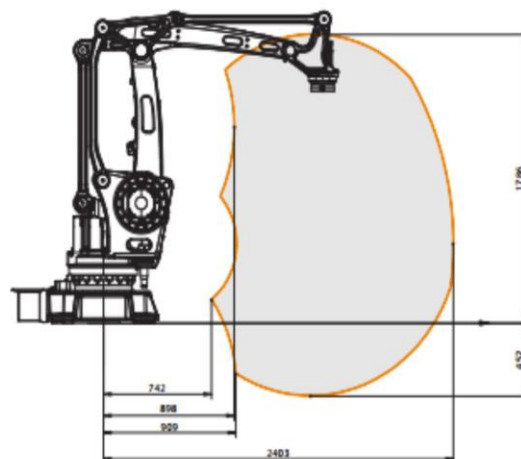
During operation	+ 0°C (32°F) to + 45°C (113°F)
During transportation and storage	- 25°C (-13°F) to + 55°C (131°F)
For short periods (max 24h)	up to + 70°C (158°F)
Relative humidity	Max. 95%
Noise level	< 70 dB (A)

Safety	Double circuits with supervisions, emergency stops and safety functions, 3-position enabling device
--------	---

Emission	EMC/EMI shielded
----------	------------------

Data and dimensions may be changed without notice

#### Working range



#### Cycles per hour

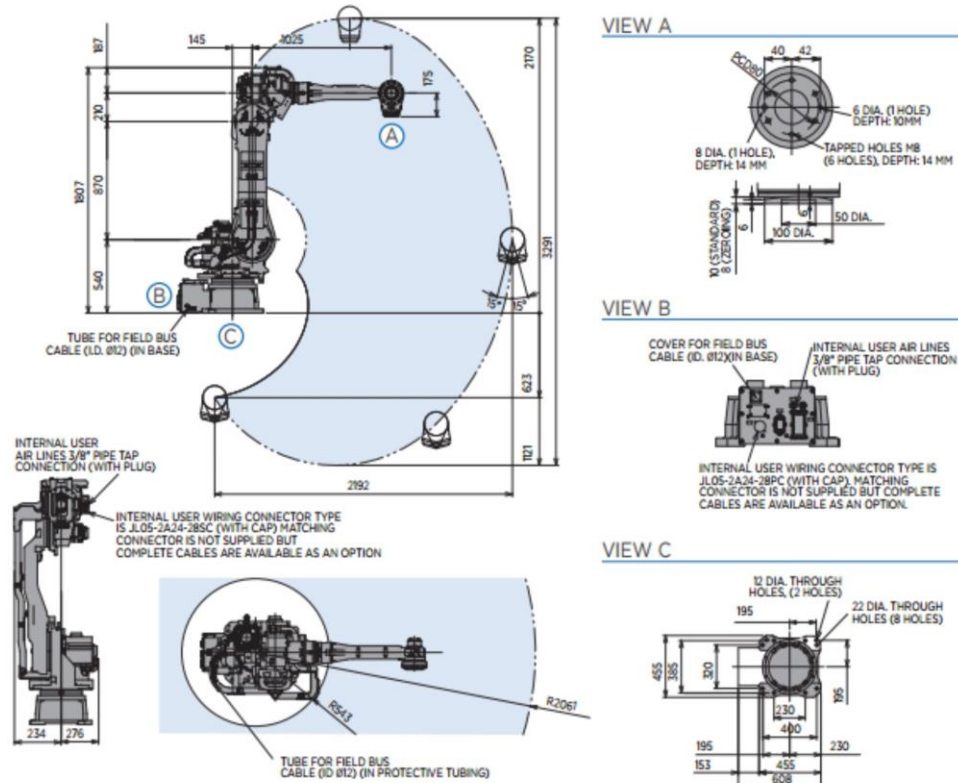
Load	Cycles per hour
60 kg	2190
110 kg	2040



Standard palletizing cycle

## Anexo E. Hoja de Datos Robot Palletizer YASKAWA – MPL80II

### MPL80 II ROBOT



All dimensions are metric (mm) and for reference only.  
Request detailed drawings for all design/engineering requirements.

#### SPECIFICATIONS

Axes	Maximum motion range [°]	Maximum speed [°/sec.]	Allowable moment [N·m]	Allowable moment of inertia [kg·m <sup>2</sup> ]	Controlled axes	5
S	±180	170	-	-	Maximum payload [kg]	80
L	+135/-90	170	-	-	Repeatability [mm]	±0.07
U	+35/-160	170	-	-	Horizontal reach [mm]	2,061
B	±15	170	78.4	16	Vertical reach [mm]	3,291
T	±360	350	20.5	6.1	Weight [kg]	550
					Power requirements DX200 MLX200	3-phase; 240/480/575 VAC at 50/60 Hz 3-phase, 230 VAC at 50/60 Hz
					Power rating [kVA]	4.0

#### OPTIONS

NSF-H1 certified food-grade lubricants  
Extended length manipulator cables  
PalletSolver - revolutionary palletizing software



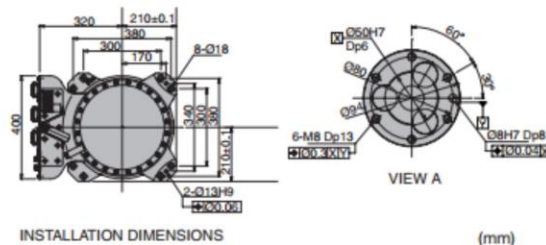
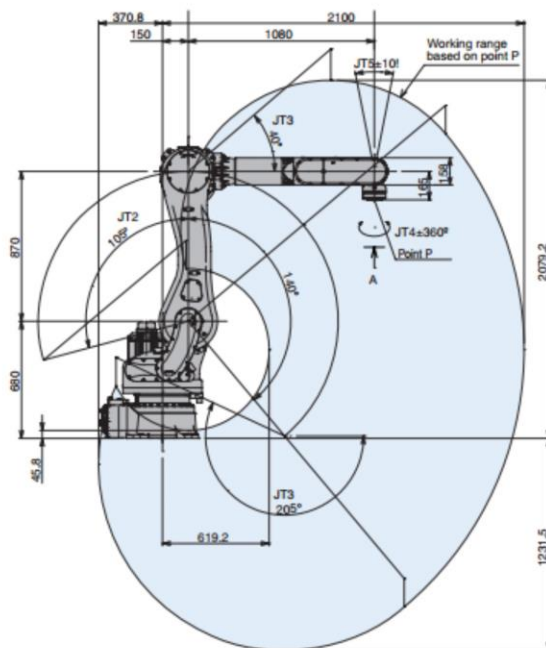
Yaskawa America, Inc.  
Motoman Robotics Division

100 Automation Way  
Miamisburg, OH 45342  
Tel: 937.847.6200  
Fax: 937.847.6277

## Anexo F. Hoja de Datos Robot Palletizer KAWASAKI - RD 080



### MOTION RANGE & DIMENSIONS



**Note:** Detailed drawings are available upon request.

Simple friendly

### RD80N SPECIFICATIONS

Type	Articulated		
Degrees of Freedom	5 axes		
Payload	80 kg		
Horizontal Reach	2,100 mm		
Vertical Reach	3,311 mm		
Repeatability	±0.07 mm		
Work Envelope (degrees) & Maximum Speed (degrees/s)	Axis	Motion Range	Maximum Speed
	JT1	±180°	180°/s
	JT2	+140° ~ -105°	180°/s
	JT3	+40° ~ -205°	175°/s
	JT4	±360°	360°/s
	JT5	±10°	—
Wrist Load Capacity	Axis	Maximum Torque	Moment of Inertia
	JT4	—	13.7 kg·m <sup>2</sup>
* Restrictions are applied to the center of gravity. See the Installation and Connection Manual. If more detailed data is required for your application, please contact Kawasaki.			
Maximum Palletizing Capacity	Approx. 900 cycles/hour at 80 kg payload Based on a robot stroke of 400 mm upward-downward and 2,000 mm in the right-left direction.		
Motor(s)	Brushless AC Servomotor		
Brakes	All axes		
Hard Stop(s)	Adjustable mechanical stopper JT1/JT2/JT3		
Mass	540 kg (excluding Options)		
Body Color	Kawasaki Standard		
Installation	Floor, ceiling		
Environmental Conditions	Temperature	0 ~ 45° C	
	Humidity	35 ~ 85 % (no dew, nor frost allowed)	
	Vibration	Less than 0.5 G	
Protection Classification	Wrist: IP67    Base: IP65	* Equivalent	
Built-in Harness	Sensor harness 12 inputs, 24VDC, GND		
Internal Wiring	14 wires, inside robot arm		
Built-in Utilities	Pneumatic piping (ø10 x 2 lines)		
Options	IP67 entire arm		
	Linear track options		
	Riser (300/600 mm)		
	Base plate		
	Double/single solenoid valves (4 units max.) Air cleaning equipment (filter, regulator, mist separator)		
Controller	E32 (See E Controller data sheet for specifications)		



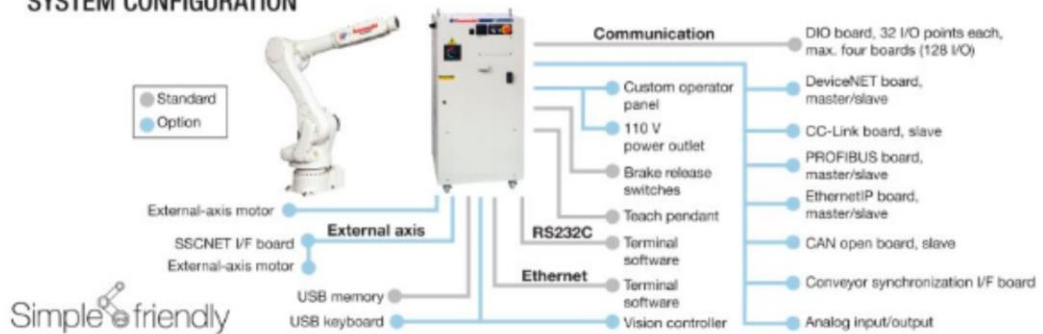
## Anexo G. Hoja de Datos Controller E32 KAWASAKI



### E CONTROLLER SPECIFICATIONS

STANDARD		OPTION
Model	E30 / E32 / E33 / E34	E76 / E77
Number of Controlled Axes	6 axes	Maximum 16 axes
Drive System	Full digital servo system	
Coordinate Systems	Joint, base, tool	External fixed tool point
Types of Motion Control	Joint/linear, circular interpolated motion	
Programming	Point to point teaching (Block Step) or AS language based programming	
Memory Capacity	8 MB (approx. 80,000 steps)	
Dimensions	W600 x D550 x H1200 (mm)	W500 x D420 x H250 (mm)
Structure	Self-standing main enclosure	
Mass	90 kg	30 kg
Body Color	Kawasaki Standard	
General Purpose Signals	External Operation	Motor power On, Hold, control power On/Off, circuit Off, etc.
	Input	32 discrete channels
	Output	32 discrete channels
Operation Panel	E-Stop switch, teach/repeat switch, control power light	Customizable application interface panel Traditional operation panel
Cable Length	Teach Pendant	10 m
	Robot-Controller	7 m
Environment Conditions	Ambient Temperature: 0 ~ 45° C Relative Humidity: 35 ~ 85 % (no dew, nor frost allowed)	
Power Requirements	AC440-480V ±10%, 60Hz, 3ø Class-D earth connection (earth connection dedicated to robots), leakage current Maximum 100mA	AC220-240V ±10%, 50/60Hz, 1ø AC200-220V, AC380-415V, AC440-480V, AC515V, AC575V ±10%, 50/60Hz, 3ø (E30 / E32 / E33 / E34)
Teach Pendant	TFTcolor LCD display with touch-panel, E-Stop switch, teach lock switch, enabling switch (Cycle start, motor-on, hold/run, errors, and error reset are activated from the teach pendant)	
Auxiliary Storage Unit	USB memory	USB keyboard
Interface	USB, Ethernet (100BASE-TX), Serial RS232C	Field buses

### SYSTEM CONFIGURATION



Assembly • Cutting • Dispensing • Grinding • Handling • Inspection • Packaging • Painting • Palletizing • Polishing • Tending • Welding

#### Kawasaki Robotics (USA), Inc.

**United States**  
28140 Lakeview Drive  
Wixom, Michigan 48393  
Phone (248) 446-4100  
Email sales@kri-us.com

**Canada**  
Phone (905) 304-7784

**Mexico**  
Phone (52) 33-3110-1895

[www.kawasakirobotics.com](http://www.kawasakirobotics.com)

E Controller - REV01/12  
© Kawasaki Robotics (USA), Inc. All rights reserved.  
Technical specifications subject to change without notice.